



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA**  
**BARCELONATECH**

---

**Escola Tècnica Superior d'Enginyeries  
Industrial i Aeronàutica de Terrassa**

---

# Estudio adaptación de una plataforma en altura para collar diferentes tamaños de motores eléctricos acoplados a una bancada de ensayo con dinamo de freno de par de carga regulable

---

## **MEMORIA**

Trabajo de fin de grado en Ingeniería Mecánica

**JUNIO DE 2019**

**Autor:** Pedro Juan Arévalo Romero

**Tutor:** Carlos Rio Cano

**Cotutor:** Jaume Saura Perise

## Resumen

En el departamento de Ingeniería Eléctrica se estudia el comportamiento de los componentes eléctricos cuando están bajo los efectos de los huecos de tensión. Por ello, tienen diferentes motores eléctricos en términos de par de carga regulable cuyas dimensiones son distintas entre ellos y los cuales utilizan en sus ensayos.

Este proyecto pretende dar soporte, en el ámbito mecánico, al departamento eléctrico para que pueda realizar diferentes pruebas o ensayos con diferentes motores asíncronos. Tienen toda la instrumentación eléctrica para poder realizarlos, pero solo les falta un soporte adaptable a cada motor eléctrico donde el montaje y desmontaje sea sencillo y rápido de hacer. La principal ventaja de esta bancada regulable es la sencillez de uso para efectuar las pruebas de forma amena.

El trabajo se ha dividido en dos marcos. El primero es un marco teórico donde se introduce una explicación breve sobre la calidad de la energía eléctrica y las perturbaciones eléctricas, centrándose en los huecos de tensión. Y el segundo marco, en cambio, es práctico y se detalla todo el diseño.

## Agradecimientos

Agradezco a mi madre, mi hermana, mi tío y mis amigos por todo el apoyo y las facilidades que me han dado durante todo el grado pero, especialmente, en esta última etapa donde he necesitado apoyo moral.

Gracias a mi tutor, Carlos, a quien agradezco su ayuda y, sobretodo, su disponibilidad des del inicio de todo, hasta el final de todo.

## Índice figuras

Figura 1. Representación de onda sinusoidal. ....	13
Figura 2. Clasificación perturbaciones eléctricas .....	15
Figura 3. Representación de hueco de tensión y microcorte.....	16
Figura 4. Representación de fluctuación de tensión.....	16
Figura 5. Representación de hueco de tensión en línea trifásica. ....	18
Figura 6. Duración y magnitud de un hueco de tensión. ....	19
Figura 7. Clasificación de los huecos de tensión.....	20
Figura 8. Bancada actual. ....	21
Figura 9. Dimensiones de los motores eléctricos 1. ....	23
Figura 10. Dimensiones de los motores eléctricos 2. ....	23
Figura 11. Representación mecanismo cremallera. ....	25
Figura 12. Representación mecanismo tornillo sin fin. ....	26
Figura 13. Representación mecanismo gato mecánico de tijera. ....	26
Figura 14. Sistema de variación de la posición de las patas. ....	30
Figura 15. Fijación para tamaño de motor 100 L.....	30
Figura 16. Separador .....	31
Figura 17. Sistema de elevación 1. ....	32
Figura 18. Sistema de elevación 2. ....	32
Figura 19. Despiece de las piezas principales. ....	33
Figura 20. Base Inferior. Pieza 1.....	34
Figura 21. Base Superior. Pieza 2. ....	34
Figura 22. Cojinete Lineal. Pieza 3. ....	35
Figura 23. Varilla Roscada. Pieza 4.....	35
Figura 24. Soporte gato mecánico. Pieza 5. ....	36
Figura 25. Gato mecánico de tijera. Pieza 6. ....	36
Figura 26. Columnas. Pieza 7.....	37
Figura 27. Placa base. Pieza 8. ....	37
Figura 28. Guías motor. Pieza 9. ....	38
Figura 29. Separador (motor tamaño 100 L). Pieza 10. ....	38
Figura 30. Plaquita de sujeción. Pieza 11. ....	39
Figura 31. Llave de vaso hexagonal. Pieza 26.....	39
Figura 32. Manivela. Pieza 27.....	40
Figura 33. Programa de Heidenhain con código Pieza 5. ....	43
Figura 34. Disposición para tamaño 112 M.....	45
Figura 35. Separador para tamaño 112 M. ....	46

Figura 36. Disposición para tamaño 100 L.....	46
Figura 37. Separador para tamaño 100 L. ....	47
Figura 38. Disposición para tamaño 90 S y 90 L.....	47
Figura 39. Separador para tamaño 90 S y 90 L .....	48
Figura 40. Disposición para tamaño 80 M.....	48
Figura 41. Separador para tamaño 80 M. ....	49
Figura 42. Instrucción 1. Manual de montaje. ....	50
Figura 43. Instrucción 2. Manual de montaje. ....	50
Figura 44. Instrucción 3. Manual de montaje. ....	51
Figura 45. Instrucción 4. Manual de montaje. ....	51
Figura 46. Instrucción 5. Manual de montaje. ....	51
Figura 47. Instrucción 6. Manual de montaje. ....	52
Figura 48. Instrucción 7. Manual de montaje. ....	52
Figura 49. Instrucción 8. Manual de montaje. ....	52
Figura 50. Instrucción 9. Manual de montaje. ....	53
Figura 51. Instrucción 10. Manual de montaje.....	53
Figura 52. Instrucción 11. Manual de montaje.....	54
Figura 53. Instrucción 12. Manual de montaje.....	54
Figura 54. Instrucción 13. Manual de montaje.....	55
Figura 55. Diagrama de Chilton. ....	63
Figura 56. Diagrama de Gantt.....	64

## Índice tablas

Tabla 1. Dimensiones de los diferentes tamaños de motor. ....	22
Tabla 2. Comparativa de los 3 mecanismos para elevación.....	28
Tabla 3. Resumen de los planos realizados.....	42
Tabla 4. Características mecánicas del acero F-114.....	44
Tabla 5. Instrucciones del manual de montaje. ....	50
Tabla 6. Pautas manual de mantenimiento. ....	56
Tabla 7. Pautas manual de desguace del sistema. ....	57
Tabla 8. Sumatorio del consumo eléctrico en el taller .....	58
Tabla 9. Coste del material no normalizado. ....	60
Tabla 10. Coste del material normalizado.....	61
Tabla 11. Coste del mecanizado de las piezas. ....	61
Tabla 12. Costes indirectos.....	62

## Índice ecuaciones

Ecuación 1. Peso máximo el cual tiene que elevar el gato mecánico (kg).....	33
Ecuación 2. Peso máximo que soporta las varillas roscadas (kg).....	33
Ecuación 3. Fuerza máxima que aguanta las varillas roscadas (Newtons).....	33
Ecuación 4. Fuerza máxima que aguanta una sola varilla roscada (Newtons).....	33
Ecuación 5. Momento de inercia de un eje biarticulado, formula de Euler ( $\text{mm}^4$ ).....	33
Ecuación 6. Diámetro mínimo de las varillas roscadas (mm).....	34
Ecuación 7. Emisiones de $\text{CO}_2$ emitidos en taller mecánico (kg).....	49
Ecuación 8. Emisiones de $\text{CO}_2$ emitidos en desplazamientos (kg).....	50
Ecuación 9. Emisiones de $\text{CO}_2$ emitidos durante la documentación (kg).....	50
Ecuación 10. Sumatorio de las emisiones $\text{CO}_2$ durante el proyecto (kg).....	50

## Nomenclatura

FS → Factor de seguridad

$g$  → Aceleración de la gravedad ( $m^2/s$ )

$L$  → Longitud de las varillas roscadas (mm)

$E$  → Módulo de Young del acero (MPa)

$I_b$  → Momento de inercia de un eje biarticulado ( $mm^4$ )

$\emptyset_{\min}$  → Diámetro mínimo de las varillas (mm)

$F_v$  → Fuerza que aguanta una varilla (Newtons)

$P_T$  → Peso máximo que eleva gato mecánico (kg)

$P_{\text{MOTOR}}$  → Peso máximo del motor más grande (kg)

$P_{\text{ELEMENTOS}}$  → Peso de los elementos del soporte regulable (kg)



## Índice

Resumen.....	1
Agradecimientos .....	2
Índice figuras .....	3
Índice tablas .....	5
Índice ecuaciones.....	6
Nomenclatura .....	7
1. Introducción.....	10
1.1. Objetivo .....	10
1.2. Motivación.....	10
1.3. Alcance.....	10
1.4. Especificaciones .....	11
2. Documentación sobre la calidad de la energía eléctrica .....	12
2.1. La calidad de la energía eléctrica .....	12
2.2. Perturbaciones eléctricas .....	13
2.2.1. Origen de las perturbaciones .....	14
2.2.2. Clasificación perturbaciones eléctricas.....	14
2.2.3. Perturbaciones eléctricas.....	15
3. Documentación sobre huecos de tensión (Sag) .....	18
3.1. Definición .....	18
3.2. Parámetros que caracterizan los huecos de tensión .....	19
3.3. Clasificación de los huecos de tensión .....	19
3.4. Causas y origen .....	20
4. Introducción al problema.....	21
4.1. Información de partida (especificaciones) .....	22
5. Estudio de las alternativas.....	24
5.1. Alternativas para la variación de posición de las patas de los motores.....	24
5.2. Alternativas para la variación de altura de los ejes.....	25
5.3. Selección de las mejores alternativas .....	27
5.3.1. Selección mejor alternativa para variación de posición de los motores .....	27
5.3.1. Selección mejor alternativa para variación de altura de los ejes.....	27
6. Descripción del diseño .....	29
6.1. Descripción general.....	29
6.2. Piezas .....	33

6.2.1. Piezas principales.....	33
6.2.2. Otras piezas normalizadas .....	40
6.3. Cálculos.....	41
6.4. Proceso de trabajo .....	42
6.5. Piezas en CNC.....	43
6.6. Material selecciona para las piezas a mecanizar .....	44
7. Disposiciones del diseño .....	45
7.1. Disposición para motor eléctrico de tamaño 112 M .....	45
7.2. Disposición para motor eléctrico de tamaño 100 L .....	46
7.3. Disposición para motor eléctrico de tamaño 90 S y 90 L.....	47
7.4. Disposición para motor eléctrico de tamaño 80 M .....	48
8. Manuales.....	50
8.1. Manual de montaje.....	50
8.2. Manual de mantenimiento .....	56
8.3. Manual de desguace del sistema.....	57
9. Estudio impacto medioambiental CO2 del proyecto.....	58
10. Presupuesto.....	60
10.1. Costes directos .....	60
10.1.1. Material no normalizado .....	60
10.1.2. Material normalizado .....	61
10.1.3. Mecanizado de las piezas.....	61
10.2. Costes indirectos .....	62
10.3. Diagrama Chilton .....	63
11. Diagrama de Gantt .....	64
12. Conclusiones .....	65
13. Bibliografía .....	66
14. Referencia.....	67

## 1. Introducció

### 1.1. Objectiu

El objectiu consisteix en estudiar cómo fer una bancada que pugui servir per a diferents motors elèctrics de forma dinàmica. La seva principal característica ha de ser la senzillesa d'ús per a realitzar les proves de forma amena.

### 1.2. Motivació

La principal motivació per a dur a terme aquest projecte ha estat que es tracta d'una pràctica docent, i a més, s'utilitzarà per ajudar al departament elèctric a realitzar els seus estudis i investigacions sobre els efectes dels buits de tensió. A més de poder veure en el futur el meu propi disseny construït al laboratori del departament elèctric.

Ha suposat un repte motivador haver dissenyat un suport regulable que permet fixar diferents mides de motors elèctrics. He pogut aplicar molts dels coneixements adquirits durant la carrera en aquest treball, com per exemple els plans o les fulles de processos.

Per un altre costat, també ha estat un repte recopilar tota la informació necessària per justificar les decisions preses.

La diversitat de temes abordats, juntament amb el repte que suposa transferir tota la informació estudiada al suport regulable, ha estat factors motivadors per a dur a terme aquest projecte.

### 1.3. Alcance

El alcance que es va a definir des d'un principi serveix de guia per a la realització del projecte. La finalitat i la funció d'aquest estudi, es basa en:

- Estudiar les possibilitats existents per a resoldre el problema.
- Fer el disseny de la bancada amb el suport regulable en CAD.
- Càlculs mínims.
- Plans.
- Fulles de processos.
- Descripció del muntatge.

## 1.4. Especificaciones

Las especificaciones de este proyecto son las dimensiones de los diferentes tamaños de motores eléctricos que se pueden fijar en nuestro soporte regulable. En el apartado 4 se puede encontrar una pequeña introducción al problema, además de las especificaciones de cada motor eléctrico que podemos utilizar.

## 2. Documentación sobre la calidad de la energía eléctrica

Los diferentes tipos de perturbaciones que afectan la calidad de la energía eléctrica tienen una gran importancia en la industria actual. Definir con exactitud las causas u orígenes de las perturbaciones que se propagan por la red es un apartado complejo que necesita siempre de una correcta monitorización y análisis, con el propósito de proponer acciones correctoras.

Como la bancada pretende ayudar al estudio de los comportamientos de los componentes eléctricos cuando están afectados por huecos de tensión (SAG), es conveniente introducirse en el mundo de la calidad eléctrica y las perturbaciones que la afectan, para llegar a comprender la función principal del conjunto mecánico diseñado.

### 2.1. La calidad de la energía eléctrica

No existe hasta el momento una definición completamente aceptada del término calidad de la energía eléctrica o calidad del suministro eléctrico, siendo los estándares y las normas internacionales más empleadas las siguientes:

- El estándar IEC 61000-4-30 define la calidad de la energía eléctrica como las características de la electricidad en un punto dado de una red de energía eléctrica, evaluadas con la relación a un conjunto de parámetros técnicos de referencia. [3]
- El estándar IEE 1159-1995 define la calidad de la energía eléctrica como una gran variedad de fenómenos electromagnéticos que caracterizan la tensión y la corriente en un instante dado y en un punto determinado de la red eléctrica. [2]
- La norma EN 501060 establece como calidad de energía eléctrica las características principales de tensión, suministrada por una red general de distribución en baja y media tensión en condiciones normales de explotación. [1]

Por lo tanto, la calidad de red básicamente se refiere a la calidad de la tensión en nuestro punto de conexión con el suministro eléctrico.

Por otro lado, es necesario indicar los parámetros necesarios para medir la calidad de la energía eléctrica. Sabiendo que la energía eléctrica se genera, transporta y distribuye en forma de un sistema sinusoidal y trifásico de tensiones, existen cuatro factores que determinan la calidad de la tensión:

- **Amplitud:** Define los valores máximos y mínimos de la onda sinusoidal. Es decir, que el nivel de tensión de servicio deber ser estable entorno a unos márgenes tolerables.
- **Frecuencia:** Se debe mantener estable dentro de unos márgenes respecto a la frecuencia del sistema (50 o 60 HZ).
- **Simetría:** El sistema eléctrico debe de estar equilibrado, y por lo tanto, que no se encuentre desequilibrado ni por amplitud ni desfase.
- **Forma:** La forma de la onda sinusoidal debe ser la más limpia posible, o dicho de otra manera, que no esté deformada por ningún tipo de perturbación, como por ejemplo los armónicos.

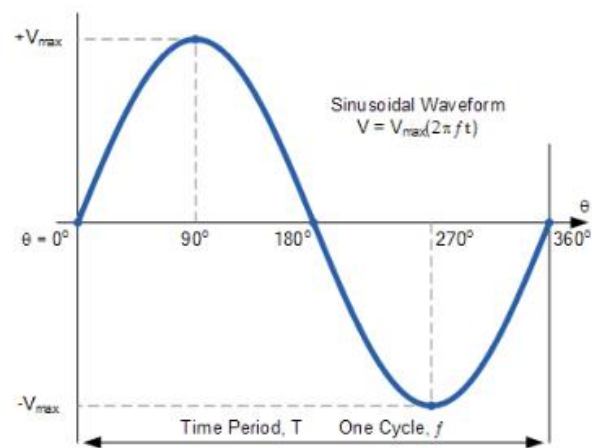


Figura 1. Representación de onda sinusoidal.

## 2.2. Perturbaciones eléctricas

La calidad de la energía eléctrica en una instalación viene afectada por la presencia de las perturbaciones eléctricas, que son aquellos fenómenos o eventos que afectan a las características del suministro eléctrico. Pueden afectar a la tensión, corriente o frecuencia, y pueden estar originadas en las centrales eléctricas, sistemas de distribución o en las propias instalaciones de los usuarios. Se caracterizan por su magnitud y duración, como transitorios o periódicos.

Cuando una perturbación da lugar a un suministro eléctrico fuera de límites, las cargas eléctricas alimentadas pueden presentar un funcionamiento incorrecto o incluso dañarse.

### 2.2.1. Origen de las perturbaciones

Las perturbaciones eléctricas tienen dos tipos de orígenes, interno y externo:

- **Causas internas:** Aproximadamente el 80% de las perturbaciones eléctricas se originan en la propia instalación del usuario. Entre las causas potenciales se incluyen el arranque y la parada de grandes cargas, cableado deficiente, sobrecargas, cortocircuitos y armónicos.
- **Causas externas:** Alrededor del 20% de los problemas asociados a una calidad eléctrica deficiente se originan en los sistemas de producción y distribución eléctrica. Entre las causas principales podemos citar por orden de importancia: rayos, fallos en los propios sistemas, otros fenómenos atmosféricos, sistemas de transferencia.

### 2.2.2. Clasificación perturbaciones eléctricas

Como ya se ha comentado anteriormente, según la norma EN-50160, hay cuatro factores o parámetros de la red que pueden verse alterados por algún tipo de perturbación. Son los siguientes:

- Frecuencia
- Amplitud
- Forma
- Simetría

Todos ellos pueden verse afectados de forma transitoria, es decir, sin ninguna cadencia de repetición determinada o periódica. Por otro lado, la duración puede ser de fracciones de ciclo, de varios ciclos o incluso períodos de varios segundos o minutos. En virtud de esta variedad de posibilidades, las perturbaciones reciben distintos nombres que definiremos a continuación.

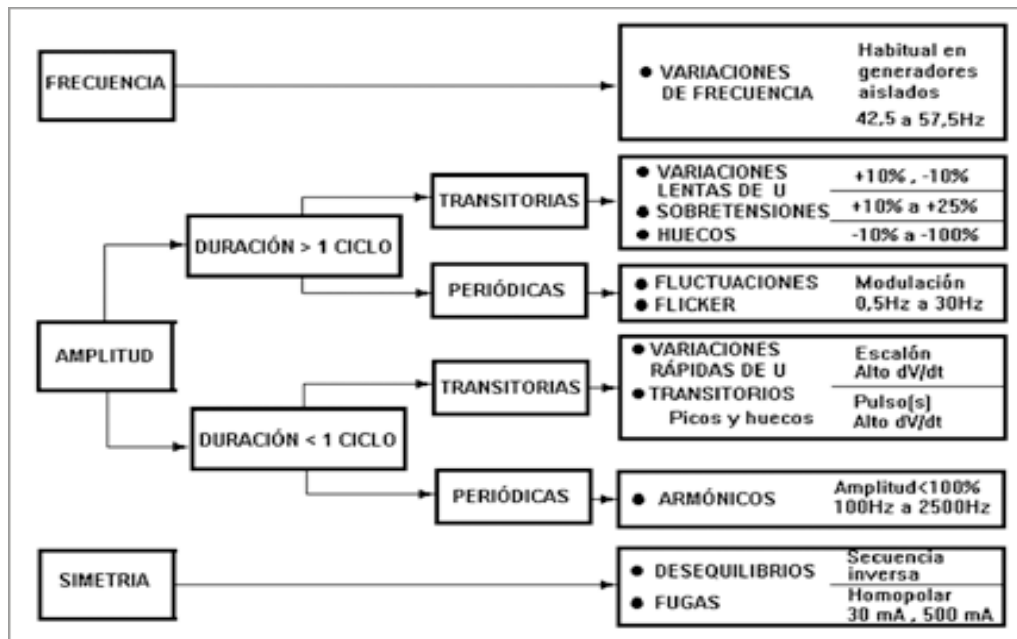


Figura 2. Clasificación perturbaciones eléctricas

### 2.2.3. Perturbaciones eléctricas

A continuació se explicaran algunes de les perturbacions elèctriques que poden aparèixer en una instal·lació.

#### Perturbaciones no periódicas:

- **Variación de tensión:** Aumento o disminución de tensión, provocada normalmente por la variación de la carga total de la red de distribución o de una parte de esa red. Suele medirse en promedios de 10 segundos.
- **Sobretensión a frecuencia industrial:** También conocido como Swell, es una sobretensión de una duración relativamente larga en un lugar dado. Las sobretensiones temporales son habitualmente debidas a maniobras o defectos. Como por ejemplo: reducción súbita de la carga, defectos monofásicos, entre otras.
- **Hueco de la tensión:** Conocido como Sag, es una disminución de la tensión de la alimentación a un valor situado entre el 90% y el 10% de la tensión nominal, seguida del restablecimiento de la tensión después de un corto lapso de tiempo. Un hueco de tensión dura entre 10 ms y 1 minuto.
- **Interrupción de alimentación:** Condición en la que la tensión de las tres fases en los puntos de suministro es inferior al 1% de la tensión nominal.



- **Microcorte:** Interrupción corta con duración de algunos milisegundos. Este tipo de perturbación aparece típicamente en los disparos de protecciones con reenganche automático.

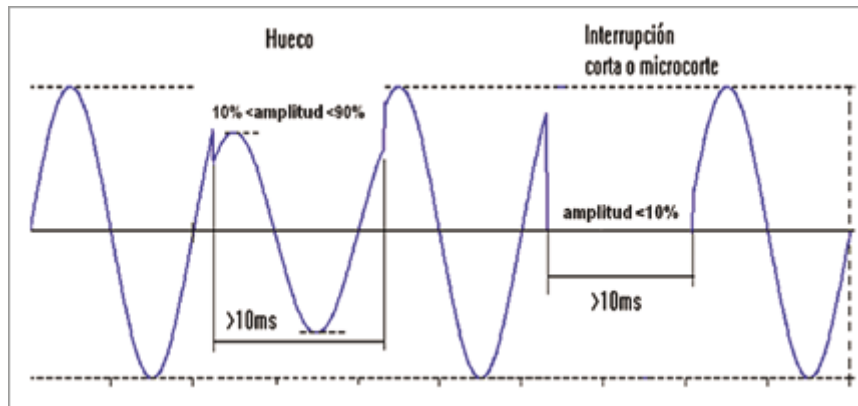


Figura 3. Representación de hueco de tensión y microcorte.

- **Variación rápida de tensión:** Cambio del valor eficaz de una tensión entre dos niveles consecutivos mantenidos durante intervalos de tiempo definidos, pero sin una cadencia de repetición especificada.
- **Picos:** También conocida como Surge, es una sobretensión oscilatoria, o no, de corta duración, generalmente fuertemente amortiguada y que dura como máximo algunos milisegundos.

### Perturbaciones periódicas:

- **Fluctuación de tensión:** Serie de variaciones de la tensión o variación cíclica de la envolvente de la tensión. La envolvente puede variar de forma aleatoria o de forma periódica siguiendo determinados perfiles de envolvente.

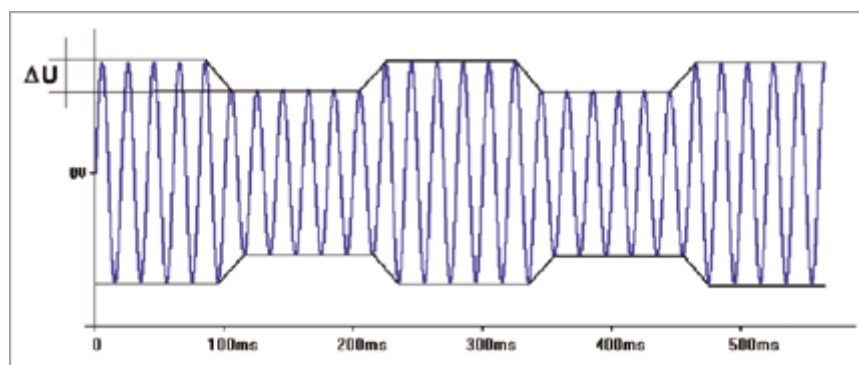


Figura 4. Representación de fluctuación de tensión.

- **Parpadeo:** También conocido como Flicker, es una impresión de inestabilidad de la sensación visual debida a un estímulo luminoso en el que la luminosidad o la distribución espectral fluctúan en el tiempo. Dicho parpadeo se debe en

general a fluctuaciones de la tensión, y es perceptible para frecuencias entre 0,5 Hz y 25 Hz.

- **Tensión armónica:** Tensión sinusoidal cuya frecuencia es un múltiplo entero de la fundamental de la tensión de la alimentación.
- **Desequilibrio de tensión:** En un sistema trifásico, condición en la que los valores eficaces de tensión de las tres fases no son iguales o los ángulos entre fases consecutivas no son iguales.

### 3. Documentación sobre huecos de tensión (Sag)

Como se ha dicho anteriormente, la bancada está destinada al estudio del comportamiento de los componentes eléctricos cuando están bajo los efectos de huecos por tensión. Por ello, en este apartado se presenta su definición, los parámetros que le caracterizan y su clasificación.

#### 3.1. Definición

Un hueco de tensión es una perturbación eléctrica que se produce de forma repentina en un punto particular de la red eléctrica como consecuencia de un aumento extremo de la corriente. Este aumento de la corriente produce caídas de tensión que dan lugar a la creación del hueco.

Explicado de una manera más científica y según la norma vigente UNE-EN 50160, un hueco de tensión es una disminución brusca de la tensión de alimentación a un valor situado entre el 90% y el 1% de la tensión declarada, seguida de un restablecimiento de la tensión después de un corto lapso de tiempo. Por convenio, un hueco dura entre 10 ms a 1 min. La profundidad de un hueco de tensión es definida como la diferencia entre la tensión eficaz mínima durante el hueco de tensión y la tensión declarada. Las variaciones de tensión que no reducen la tensión de alimentación a un valor inferior al 90% de la tensión declarada no son consideradas como huecos de tensión.

En la figura 5, se puede ver una línea trifásica que sufre un hueco de tensión en las tres fases de forma simultánea. En la primera representación se muestra la representación de la forma de onda, y en la segunda la representación de la tensión eficaz. [3]

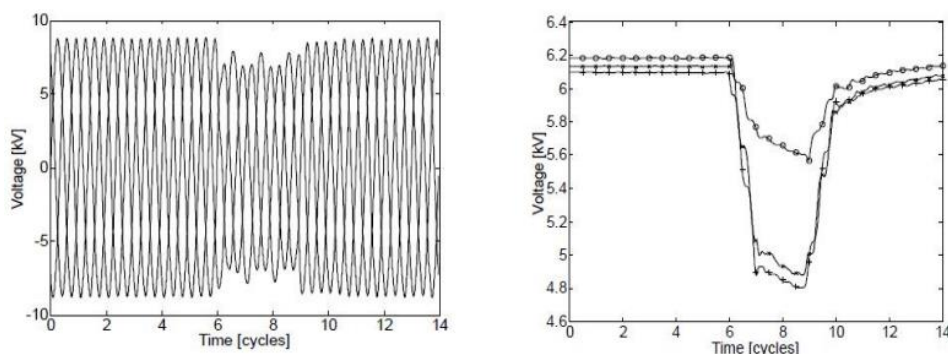


Figura 5. Representación de hueco de tensión en línea trifásica.

### 3.2. Parámetros que caracterizan los huecos de tensión

A continuación se van a definir diferentes conceptos relacionados con los parámetros que caracterizan los huecos de tensión:

- **Magnitud:** Diferencia entre la tensión declarada, o de referencia, y la tensión residual. Puede ser expresada como un valor en voltios, como porcentaje o un valor por unidad relativo a la tensión de referencia.
- **Duración:** Tiempo máximo durante el cual el valor rms de tensión en cualquiera de las fases del sistema trifásico es menor al 90%.

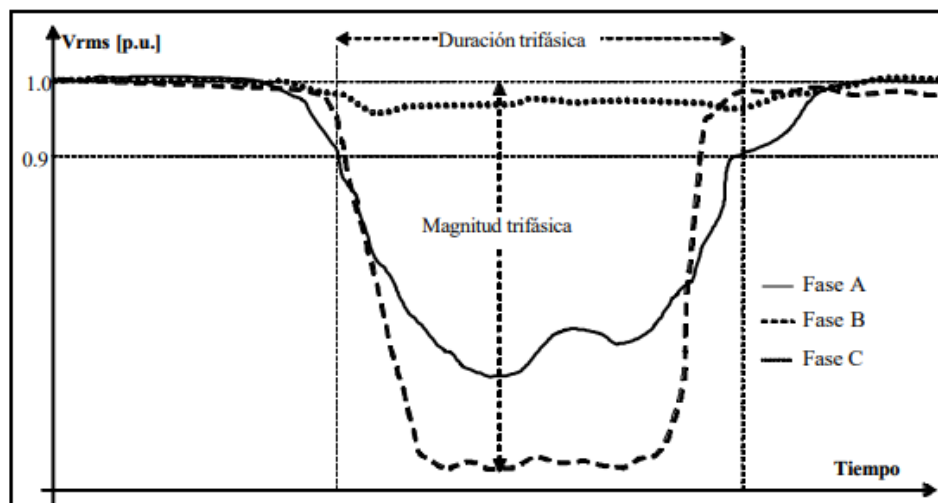


Figura 6. Duración y magnitud de un hueco de tensión.

### 3.3. Clasificación de los huecos de tensión

Para clasificar los tipos de huecos, se ha utilizado la caracterización fasorial planteada por M. Bollen en sus trabajos. Esta caracterización considera tanto el módulo como el ángulo de los fasores de tensión en las tres fases durante el hueco de tensión. De acuerdo a esta caracterización se pueden clasificar los huecos de tensión en siete tipos. [4].

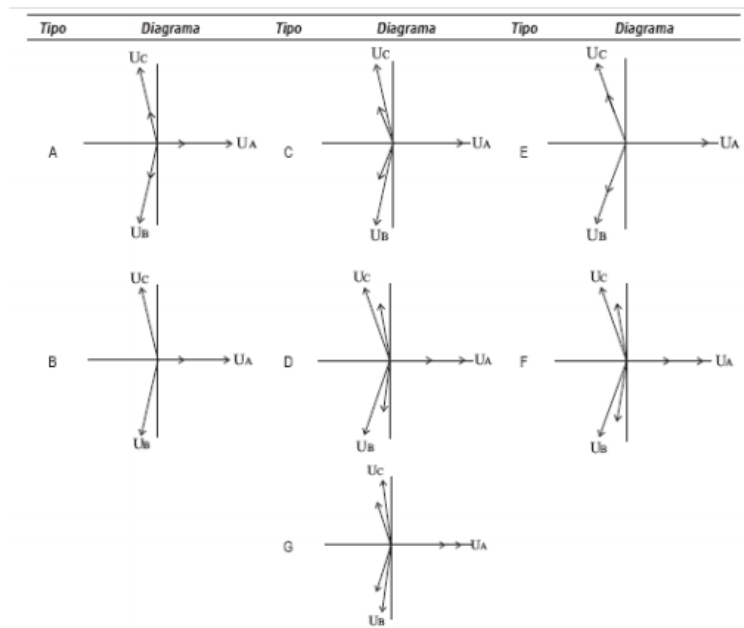


Figura 7. Clasificación de los huecos de tensión.

### 3.4. Causas y origen

La causa principal de que se produzcan los huecos de tensión son los cortocircuitos. Estos son fallos que se producen en cualquier punto de la red debido a defectos en los aislamientos, condiciones meteorológicas complicadas, descargas atmosféricas, contacto con animales o árboles, etc.

Otras fuentes de origen de los huecos de tensión pueden ser ciertas maniobras del sistema: operaciones de carga a alto consumo, arranque de grandes motores, conexión/desconexión de condensadores, modificaciones de la topología de la red, cambios bruscos de carga, etc. Todas estas causas producen efectos similares a los de los cortocircuitos, aunque menos intensos. Sin embargo, en ocasiones es indistinguible el origen de la falta, por lo que todos estos factores también pueden producir huecos de tensión.

#### 4. Introducción al problema

Como se ha dicho anteriormente, en el departamento eléctrico estudian el comportamiento de los componentes eléctricos cuando están bajo los efectos de los huecos de tensión, por ello, disponen de una gran variedad de herramientas para poder medir y cuantificar los resultados de sus ensayos. En el día de hoy, disponen de todo los utensilios para estudiar dicho comportamiento menos en la parte mecánica. Actualmente disponen de una bancada donde fijan diferentes motores eléctricos y los acoplan a una dinamo de freno mediante un plato de acoplamiento para realizar sus ensayos. Dicha bancada no tiene un sistema dinámico que pueda facilitar la fijación de los motores y la modificación en la altura para poder igualar el nivel del eje del motor al eje de la dinamo de freno. Por este motivo, necesitan un sistema que pueda fijar diferentes tamaños de motor para poder trabajar con una mayor variedad de posibilidades. Aquí es donde entro yo, que seré el encargado de diseñar este sistema con la ayuda de mi tutor.



*Figura 8. Bancada actual.*

En el siguiente subapartado se explica la información necesaria para poder comenzar a realizar el diseño que satisfaga al usuario que vaya a utilizarlo.

#### 4.1. Información de partida (especificaciones)

Para comenzar a diseñar se debe tener en cuenta la información sobre la bancada actual y las dimensiones de los motores eléctricos que se vayan a utilizar.

Primero de todo, se cogieron todas las medidas de la bancada actual, ya que se va a mantener toda y el sistema diseñado se adaptará a ella. No obstante había una medida en concreto que limitaba la variedad de tamaños de los motores eléctricos. La diferencia de longitud del eje de la dinamo, que está fijada, a la base superior (que se verá más delante de que pieza de trata) es de 160 mm. Esto quiere decir que la longitud del eje del motor a sus propias patas tiene que ser inferior al valor de 160 mm.

Una vez medida la bancada actual y sabiendo el dato importante comentado previamente, se dispuso a buscar las dimensiones de los motores eléctricos. Los motores eléctricos siguen una serie de normas. De todas ellas, la más importante para el diseño es la clasificación de los tipos constructivos, formas de montaje. Hay diferentes formas constructivas de motor, pero la que más interesa es la forma constructiva B3, que se caracteriza por ser fijado mediante patas, los taladros en las patas son pasantes para ser fijados mediante tornillo a la bancada. No lleva brida delantera, por lo tanto ningún elemento de fijación, aparte de las patas. Entonces se buscaron las dimensiones de la forma constructiva explicada anteriormente.

Una vez se encontró la información requerida se tuvieron que descartar los tamaños que no entraban dentro de la bancada actual. Dicho esto, al final se obtuvieron 5 tamaños de motor diferentes que se resumen en la siguiente tabla, tabla 1.

*Tabla 1. Dimensiones de los diferentes tamaños de motor.*

TAMAÑO	A (mm)	B (mm)	H (mm)	K (mm)	PESO (kg)
80 M	125	100	80	10	12
90 S	140	100	90	10	18
90L	140	125	90	10	19
100 L	160	140	100	12	33
112 M	190	140	112	12	60

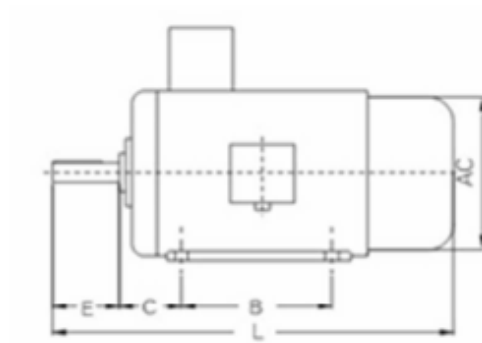


Figura 9. Dimensiones de los motores eléctricos 1.



Figura 10. Dimensiones de los motores eléctricos 2.

Gracias a esta información se puede comenzar a diseñar el sistema de fijación de los diferentes tamaños de motor.



## 5. Estudio de las alternativas

Se comenzó dividiendo el problema en dos partes o necesidades. La primera es la variación de posición de las patas de los motores eléctricos por donde se fijan. Y la segunda es la variación de altura entre el eje del motor y la posición de las patas. Para ello, se diseñó dos sistemas que pudieran suplir las dos necesidades.

Para la primera necesidad se encontró dos posibles alternativas. Se cogieron las ideas de sistemas mecánicos que sus condiciones se parecían a este proyecto y se vio que se podían utilizar en el soporte regulable.

Por otro lado, para la segunda necesidad surgieron más problemas ya que había muchas opciones, cada una de ellas con sus puntos fuertes y débiles, y se desconocía cuál era la mejor propuesta para el proyecto. Al final, se optó por tres alternativas que podían suplir el problema de la variación de altura del eje del motor.

A continuación se explicarán las alternativas de las dos partes o necesidades, haciendo una comparación entre ellas, y presentando las razones de la selección final.

### 5.1. Alternativas para la variación de posición de las patas de los motores

Se estudió dos alternativas para suplir la variación de posición de las patas de los diferentes tamaños de los motores. Son las siguientes:

- **Primera alternativa:** En esta primera propuesta se pensó en mecanizar una pletina o placa para cada tipo de motor que se tuviera. De esta manera si se quisiera cambiar de motor eléctrico se tendría que cambiar el motor con su respectiva pletina. Dicha pletina tendría los agujeros de su respectivo motor para poder fijarlo, y aparte, dos agujeros más para poder fijar la pletina del motor a una placa que siempre estaría fija. Esta placa tendría la función de unificar la pletina del motor con el sistema de elevación.  
El usuario tendría cada motor con su pletina ya fijada. En el caso de cambiar el motor, solo cambiaría el conjunto del motor más la pletina por el que se quiere utilizar.
- **Segunda alternativa:** La segunda alternativa que se pensó fue en utilizar unas guías las cuales se movieran por unos colisos mecanizados en una pletina. Se pondrían las guías en una posición adecuada respecto las dimensiones de las patas del motor y luego se fijaría mediante unos tornillos y tuercas. Finalmente

se fijaría la posición de las guías a la pletina con el mismo método, tornillo y tuerca.

El usuario solo tendría que cambiar el motor, cambiar la posición de la guías y fijar los componentes.

## 5.2. Alternativas para la variación de altura de los ejes

Se buscó mecanismos para poder suplir esta diferencia de altura de ejes entre los diferentes motores, pero se redujeron a tres posibles mecanismos. Son los siguientes:

- **Sistema cremallera:** Este mecanismo consiste en transformar un movimiento rotacional en un movimiento lineal, o viceversa, mediante dos engranajes denominados cremallera y piñón, donde la cremallera recibe directamente las cargas que se oponen a su movimiento. Esta idea se obtuvo mirando otras herramientas, en concreto los taladros. Una gran cantidad de ellos utilizan este mecanismo para bajar o subir la plataforma donde se colocan las piezas que deben ser perforadas. El piñón se acciona haciendo girar una manivela.

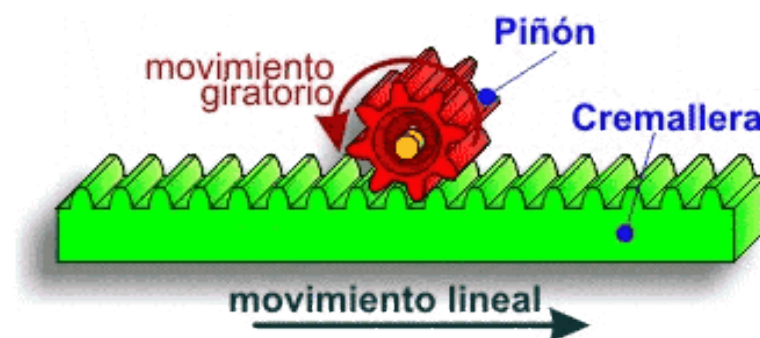


Figura 11. Representación mecanismo cremallera.

- **Sistema tornillo sin fin:** Este mecanismo fue el primero que se pensó. Consiste en un dispositivo que transmite el movimiento entre ejes que son perpendiculares entre sí, mediante un sistema de dos piezas: el tornillo, con dentado helicoidal, y un engranaje circular denominado corona. Este mecanismo funciona haciendo girar la corona (es el eje de salida), y no puede funcionar en sentido contrario, es decir, es irreversible. Se utiliza en varias aplicaciones como contadores mecánicos, limpiaparabrisas, juguetes, reductoras de ascensores, etc.

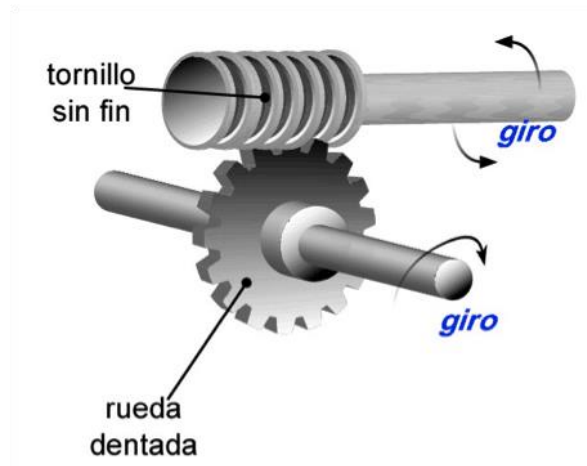


Figura 12. Representación mecanismo tornillo sin fin.

- **Sistema gato mecánico de tijera:** Finalmente, buscando otras alternativas, se encontró el concepto de gato mecánico de tijera. Esta máquina es empleada para la elevación de cargas pesadas mediante el accionamiento manual de una manivela o una palanca. Normalmente se valen de un sistema multiplicador basado en una pieza roscada y en un husillo. Estos dispositivos se clasifican generalmente por su capacidad máxima de elevación (1, 5 o 3 toneladas). Para algunas aplicaciones también es importante fijar la máxima distancia a la que pueden desplazar la carga (de 90 hasta 400 mm).

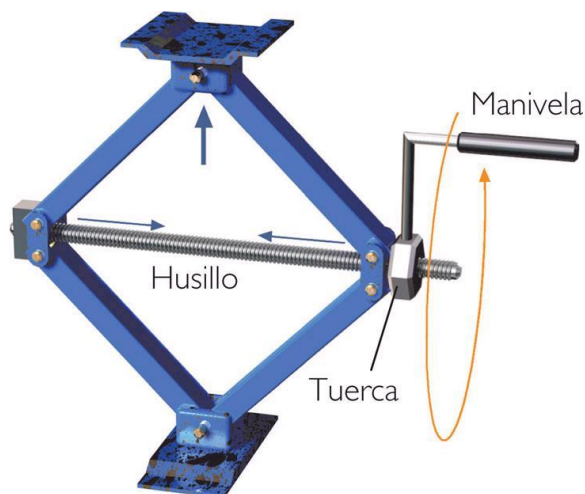


Figura 13. Representación mecanismo gato mecánico de tijera.

### 5.3. Selección de las mejores alternativas

Se ha dividido la selección según las necesidades. En los siguientes subapartados se podrá ver la justificación de la alternativa propuesta.

#### 5.3.1. Selección mejor alternativa para variación de posición de los motores

Para solucionar el problema de la variación de posición de las patas de los motores eléctricos, se ha escogido la segunda alternativa explicada por varias razones. La primera y más importante es su utilización, ya que es mucho más dinámica la segunda alternativa que la primera. En la primera se tendría que cambiar tanto el motor como la pletina, y sería un procedimiento pesado y tedioso. En la segunda alternativa, se cambiarían solo los motores y solamente modificando la posición de las guías se podría fijarlo. Resumiendo es un sistema más dinámico que la primera propuesta.

La segunda razón es el precio de fabricación. En la primera alternativa se mecanizaría una pletina para cada motor, es decir, se tendrían que fabricar cinco pletinas más la placa intermedia entre el sistema elevación y ese sistema. En cambio, en la segunda propuesta solo se tendrían que hacer las guías y la pletina por donde se mueven dichas pletinas, por lo cual sería un proceso más barato.

En conclusión, se ha seleccionado la segunda alternativa por las dos razones explicadas anteriormente: dinamismo y precio.

#### 5.3.1. Selección mejor alternativa para variación de altura de los ejes

Para escoger la mejor alternativa para este proyecto, se hizo la siguiente tabla comparativa, tabla 2, donde se pueden ver las principales ventajas y desventajas de cada mecanismo. Esta tabla ayudó a seleccionar la propuesta más adecuada.

Tabla 2. Comparativa de los 3 mecanismos para elevación.

	<b>Mecanismo cremallera</b>	<b>Mecanismo tornillo sin fin</b>	<b>Mecanismo gato mecánico de tijera</b>
<b>Ventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Transmisión suave y con precisión.</li> <li>- Transmite potencias elevadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Excelente reductor y multiplicador.</li> <li>- Es silencioso</li> <li>- Ocupa poco espacio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Simplicidad de construcción.</li> <li>- Mantenimiento mínimo.</li> <li>- Precio reducido.</li> </ul>
<b>Desventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Necesita lubricación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mecanismo caro</li> <li>- Requisitos de mantenimiento medio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lentitud de accionamiento y repliegue.</li> </ul>

Finalmente, se ha escogido la tercera alternativa por tres razones. La primera por su mantenimiento mínimo. Al tener unos requisitos mínimos de mantenimiento, el usuario se podrá despreocupar de estar pendiente cada cierto tiempo de realizar una inspección y hará su utilización más fácil. Mientras respectivamente las otras alternativas requieren de un mantenimiento más elevado. En segundo lugar su precio es muy barato, que es un punto a tener en cuenta ya que si en un futuro se rompe se podría sustituir por otro en el menor tiempo posible y a un precio económicamente barato respecto a los otros dos mecanismos. Y finalmente porque es un sistema muy fácil de adaptar a la bancada actual, lo que facilita el trabajo a realizar.

## 6. Descripción del diseño

En este apartado se explican detalladamente: la solución final aceptada, la configuración, las características del sistema diseñado, las piezas de diseño propio y los elementos normalizados que se han usado. El apartado quedará dividido en subapartados de descripción general, piezas principales y otros elementos normalizados, cálculos, proceso de trabajo y piezas en CNC.

### 6.1. Descripción general

La idea principal era diseñar un sistema de fijación de diferentes tamaños de motor eléctrico donde varían las tres direcciones (X, Y, Z). Por lo tanto, el diseño debe de tener el máximo de puntos fuertes de todas las opciones y alternativas estudiadas, y con el mínimo de puntos débiles. Como base mantendremos los principales elementos de la bancada original: base inferior, base superior, dinamo de freno y sus soportes.

Como se ha comentado en el apartado anterior, se dividieron las necesidades a cubrir en dos: la variación de longitud transversal y longitudinal de las patas de los motores eléctricos, y la variación de altura de las patas al eje del motor.

Para resolver la primera necesidad, se ha diseñado un sistema muy sencillo, fácil de utilizar y económicamente barato. Se trata de utilizar unos perfiles rectangulares de 40x25x300 mm donde se les mecanizará unas pequeñas ranuras en ambos extremos de una cara. En la cara contraria se realizará una regata de lado a lado. Estos perfiles se utilizaran como guías para poder collar los motores eléctricos en ellas. En cambio, las guías se apoyaran en una pletina de 300x300x10 mm donde se mecanizarán unos colisos para poder mover las guías en una dirección según las condiciones del motor. Estos colisos deben tener una longitud suficiente para poder fijar del motor más grande al pequeño, es decir, unos 200 mm de longitud. En la siguiente figura, figura 14, se puede visualizar lo explicado anteriormente:

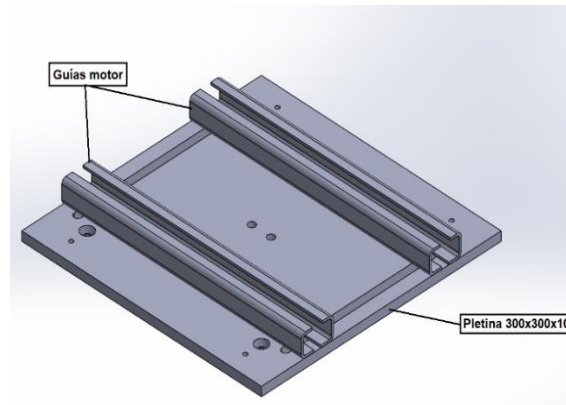


Figura 14. Sistema de variación de la posición de las patas.

Este conjunto está por encima de la base superior de la bancada original, la cual se elevará mediante el sistema de elevación, pero previo a ello, para poder fijar el motor a estas guías y las guías a la pletina, se utilizará tornillería. Para fijar las guías a la pletina se utilizarán cuatro tornillos M8x20 y cuatro tuercas M8 en cada extremo de las dos guías, mientras que el motor eléctrico irá collado a las guías mediante cuatro tornillos M12x35 y tuercas M12.

Con este sistema se asegura el movimiento transversal y longitudinal. A continuación, se puede observar en la figura 15 cómo quedaría un motor collado a las guías (motor eléctrico de tamaño 100 L):

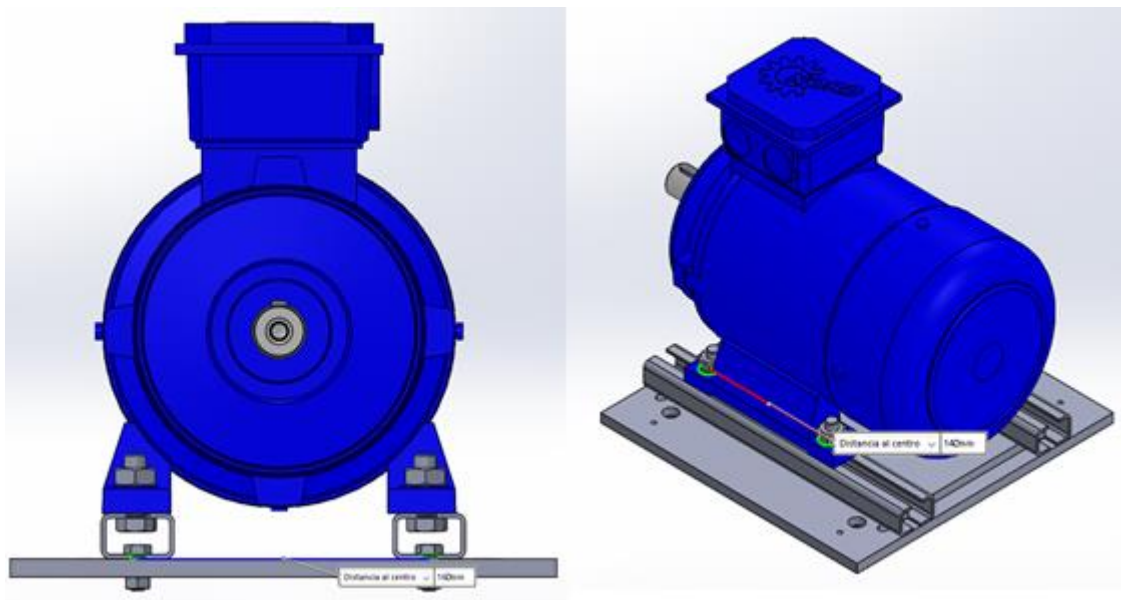


Figura 15. Fijación para tamaño de motor 100 L.

Por otro lado, para poder elevar el motor eléctrico hasta que su eje sea colineal al eje de la dinamo de freno, se unirán mediante un plato de acoplamiento. Se ha escogido un gato mecánico de tijera el cual tiene un recorrido de 90 a 380 mm. El recorrido del gato mecánico es más que suficiente ya que la diferencia del motor más grande al pequeño no llega a 60 mm. De esta manera el gato mecánico impulsará la pletina con el motor eléctrico modificando la altura. El problema que se puede presentar es que la pletina quede desnivelada al elevarla con el gato mecánico. Por ello, el gato mecánico debe quedar centrado a la pletina. Además le pondremos cuatro columnas como guías a la pletina para poder guiar y posicionar la pletina en una única dirección mediante cuatro cojinetes lineales que roscaremos en la base superior de la bancada. Para asegurar completamente se utilizará unos elementos, llamados separadores o topes, que introduciremos entre la pletina y base superior. La siguiente figura, figura 16, muestra este elemento:

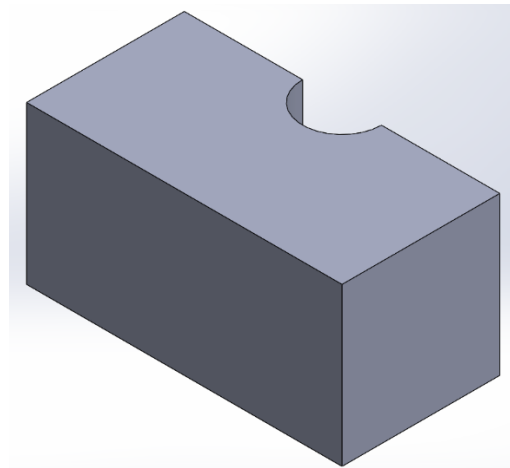


Figura 16. Separador

La principal función de este elemento es asegurar el equilibrio de la pletina, ya que la pletina se apoyará encima de estos cuatro elementos, y el eje del motor debe ser lineal al eje de la dinamo de freno. Habrá cuatro diferentes separadores, uno para cada tipo de motor eléctrico, ya que deben tener dimensiones diferentes para cada caso porque habrá una altura diferente a la otra. Gracias a estos elementos se sabrá hasta donde hay que elevar la pletina, ya que este elemento nos indicará la posición de la pletina. Solo se tendrá que subir la pletina, colocar los separadores adecuados y por último, bajar la pletina hasta que su cara inferior quede apoyada en los separadores.

A continuación, en las figura 17 y 18, se muestra el sistema de elevación. El gato mecánico se apoya sobre una pletina de 250x200x20 mm que queda a una distancia de



150 mm respecto del suelo. Mediante unas varillas roscadas la fijamos a la base superior.

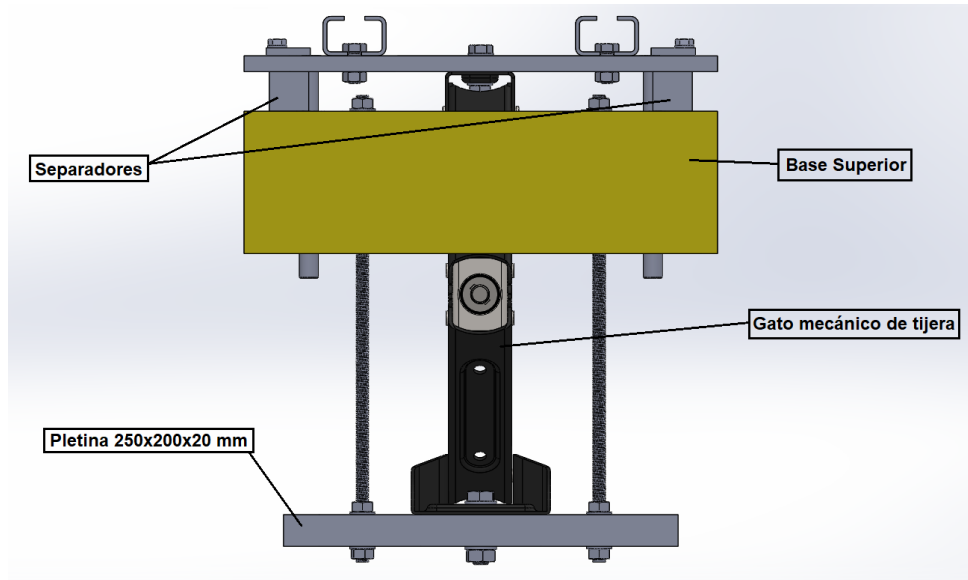


Figura 17. Sistema de elevación 1.

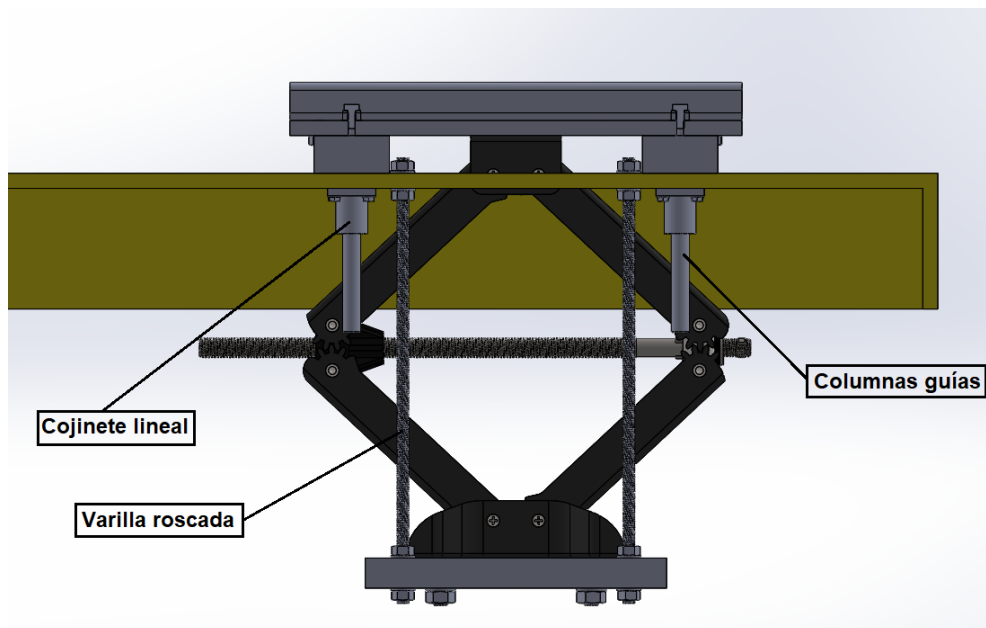


Figura 18. Sistema de elevación 2.

Con estos dos sistemas se cubren las necesidades planteadas al principio. En el siguiente subapartado se describe la función de cada pieza para el correcto entendimiento el diseño.

## 6.2. Piezas

Se ha dividido la descripción de los elementos en piezas principales, que son aquellas que se ha diseñado según las necesidades y los elementos normalizados importantes, y otras piezas normalizadas que corresponden a todos aquellos elementos de fijación (como tornillería).

### 6.2.1. Piezas principales

La siguiente figura, figura 19, muestra una vista general del conjunto para visualizar las piezas principales. Más adelante se explican los diferentes elementos propiamente diseñados:

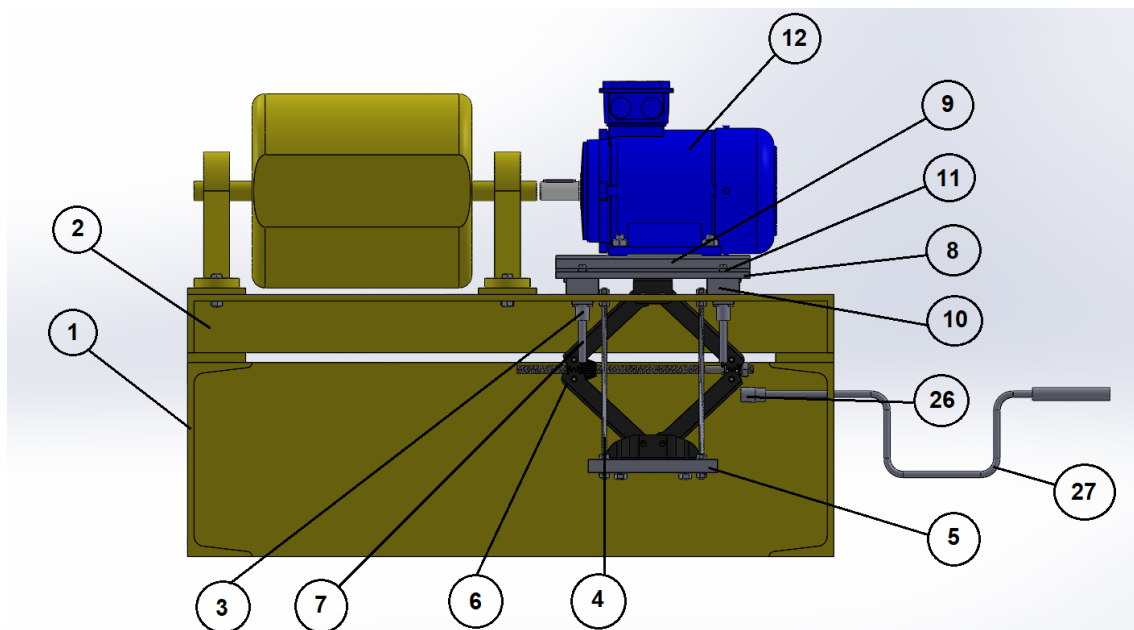


Figura 19. Despiece de las piezas principales.

- **Base inferior (1):** Elemento de la bancada original que constituye la mayor parte de la base de la bancada. Está fabricada a partir de unas vigas UPN300. Su dimensión global es de 1000x560x300 mm. En ella se tendrá que mecanizar un agujero para que se pueda introducir la manivela (pieza 27) según se quiera subir o bajar la altura del motor eléctrico mediante el gato.

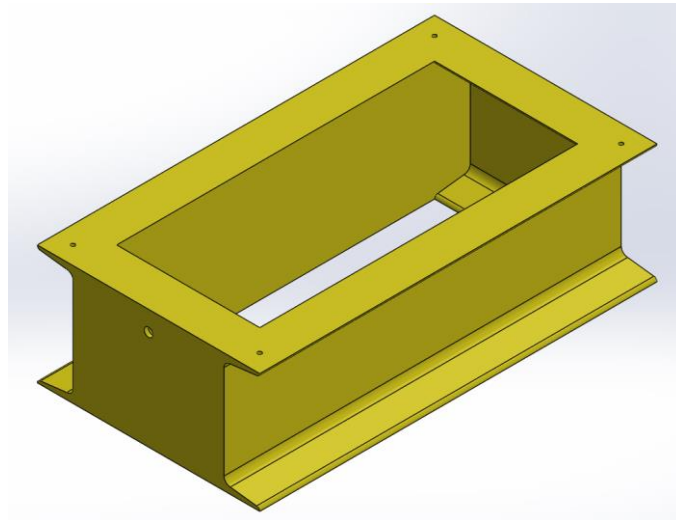


Figura 20. Base Inferior. Pieza 1.

- **Base superior (2):** Elemento de la bancada original que constituye parte de la base de la bancada. La pieza está apoyada y fijada en la base inferior (1). La pieza está fabricada a partir de planchas de grosor de 10 mm. En general, tiene unas dimensiones de 1000x300x90 mm. En ella se mecanizarán los 4 agujeros de Ø9 mm para las varillas roscadas de M8 (pieza 4) y los 16 agujeros de M4 para fijar los cojinetes lineales (pieza 3).

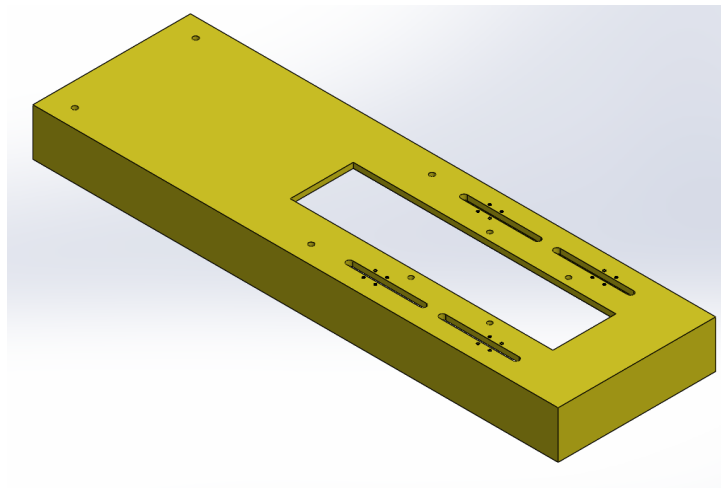


Figura 21. Base Superior. Pieza 2.

- **Cojinete lineal (3):** Elemento normalizado LMK12UU. La principal función de estas piezas es guiar y hacer deslizar las columnas (pieza 7) a través de ellas. Estos 4 cojinetes tienen un Ø interior de 12 mm y, gracias a su base cuadrada, quedan fijadas en la parte superior (pieza 2) mediante tornillos M4x12 (por la cara interior de la pieza 2).

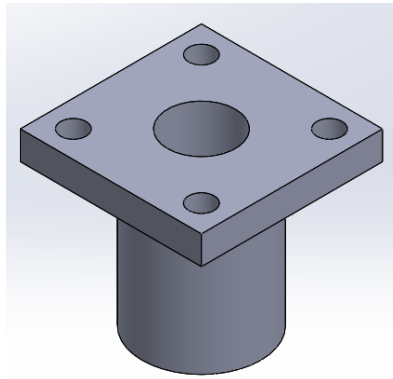


Figura 22. Cojinete Lineal. Pieza 3.

- **Varilla roscada (4):** Elemento normalizado, varilla roscada M8x295 DIN 975. La principal función de esta pieza es mantener fijada, con 4 varillas, el soporte del gato mecánico (pieza 5) a una distancia respecto el suelo de 150 mm. Por un extremo se fijan a la pieza 5 y por el otro a la base superior (pieza 2). De esta manera se puede modificar la posición del gato mecánico (pieza 6) cuando se quiera.

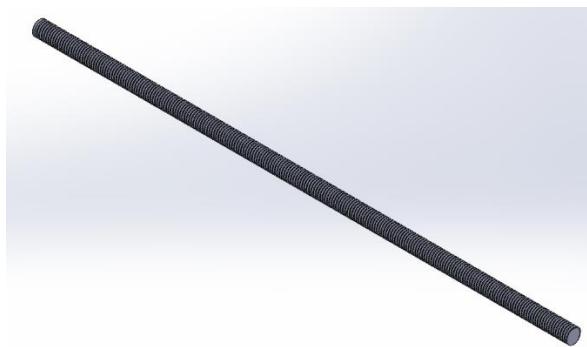


Figura 23. Varilla Roscada. Pieza 4.

- **Soporte gato mecánico (5):** Elemento cuya función es mantener y fijar el gato mecánico (pieza 5) a una determina altura respecto el suelo de 150 mm. Es una pletina de 250x200x20 de acero F-1140. Consta de 2 agujeros pasantes de Ø10, 5 mm para fijar el gato mecánico y 4 agujeros pasantes de Ø9 mm para poder introducir las varillas roscadas (pieza 4). Esta es una de las 2 piezas que mecanizaremos en CNC.

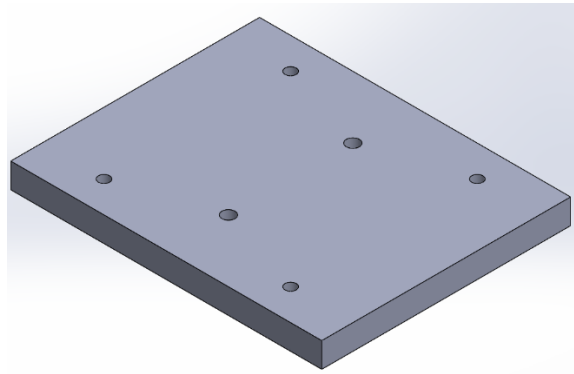


Figura 24. Soporte gato mecánico. Pieza 5.

- **Gato mecánico de tijera (6):** Elemento comercial SUMEX 2202001. Su función es elevar la placa base (pieza 8) con los motores eléctricos (pieza 12) collados. Las características principales de este gato mecánico son que puede elevar 1,5 toneladas y que su rango de movimiento es de 90 a 380 mm. Este mecanismo va fijado mediante 2 tornillos M10x40 y 2 tuercas M10 al soporte del gato mecánico (pieza 5), y por el otro lado a la placa base con tornillos M8x30 y tuercas M30.



Figura 25. Gato mecánico de tijera. Pieza 6.

- **Columnas (7):** Elemento normalizado COLUMNA GUÍA G2. Como dice el propio nombre, son 4 columnas que guían la placa base (pieza 8) en la dirección de empuje del gato mecánico (pieza 6). Además posicionan la pieza 8 en la placa base. Tiene unas dimensiones de  $\varnothing 12 \times 140$  mm (en un extremo tiene un  $\varnothing 15 \times 8$ ). Se introducen por los colisos de la base superior (pieza 2) y por los cojinetes lineales (pieza 3). Se fijan en la placa base mediante las cajas de  $\varnothing 15$  para

que se salgan por abajo, y por arriba se utilizan las plaquitas de sujeción (pieza 11) para impedir el movimiento hacia arriba.



Figura 26. Columnas. Pieza 7.

- **Placa base (8):** Pletina de 300x300x10 mm de acero F-1140. Elemento cuya función es mantener y mover las guías motor (pieza 9) en una dirección mediante las ranuras, de ancho 9 mm, que tiene mecanizadas. También mantienen fijada las columnas (pieza 7) por las cajas de Ø15x8 mm para impedir que salgan por debajo. Además tienen mecanizados 4 agujeros de M6 para poder fijar las plaquitas de sujeción (pieza 11) en caso de necesitarlas, y dos agujeros pasantes de Ø8, 5 para fijar el gato mecánico (pieza 6). Esta es la segunda pieza que se mecanizará en CNC.

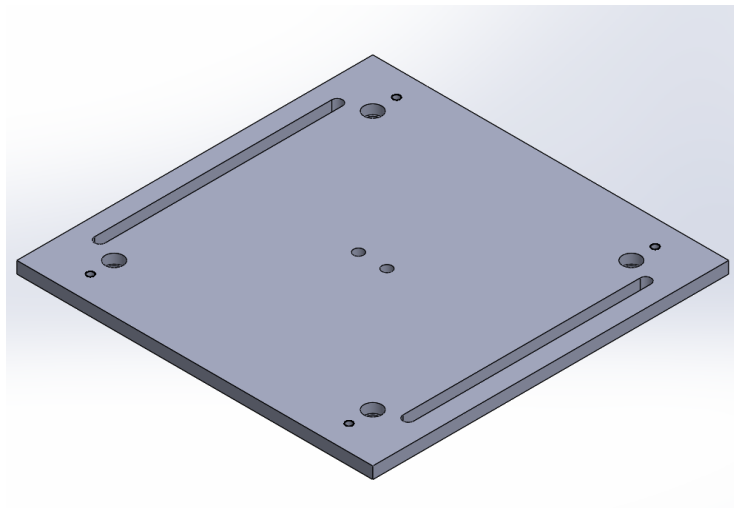


Figura 27. Placa base. Pieza 8.

- **Guías motor (9):** Elemento cuya principal función es servir de guía para collar los diferentes tipos de motores eléctricos. Se parte de un perfil rectangular de 40x25x300 de acero F-1140. En este perfil se debe mecanizar una ranura, de 13 mm de ancho, de extremo a extremo para poder mover fijar los diferentes tamaños de motor, y por el otro lado del perfil se mecanizan unas pequeñas ranuras de 9 mm de ancho en ambos extremos para poder mover las guías mediante los colisos de la placa base (pieza 8). De esta manera se consiguen los movimientos necesarios.

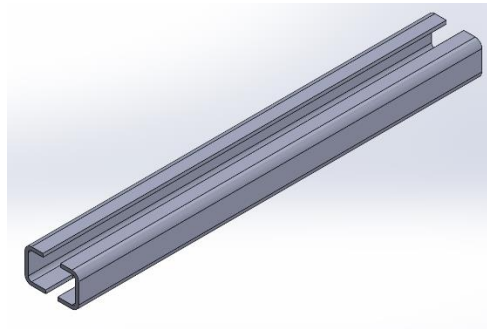


Figura 28. Guías motor. Pieza 9.

- **Separadores (10):** Elemento cuya principal función es dar estabilidad a la placa base (pieza 8) para que no haya desnivel. Además ayuda al usuario para darle una referencia y poder ubicar la placa base a su altura adecuada según el motor. Hay 4 tipos de separadores, para cada tamaño de motor, que varía a la altura de este. Se ubica alrededor de las columnas (pieza 7) y luego se apoya la pieza 8 en dichas piezas para ganar estabilidad. Tienen unas dimensiones de 50x22xB (B varía según tamaño de motor) y está fabricado de acero F-1440.

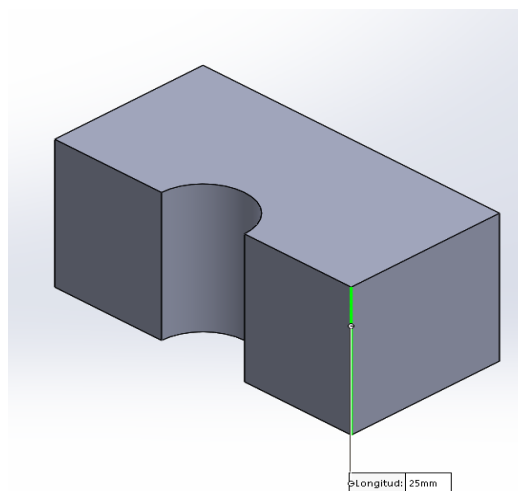


Figura 29. Separador (motor tamaño 100 L). Pieza 10.

- **Plaquitas de sujeción (11):** Elemento cuya función es fijar las columnas (pieza 7) para impedir que puedan salir por arriba. Es una pequeña pestaña, de acero F-1140, de 28x12x5 mm la cual lleva un agujero roscado M6 para poder fijarla a la placa base (pieza 8) mediante un tornillo M6x12.

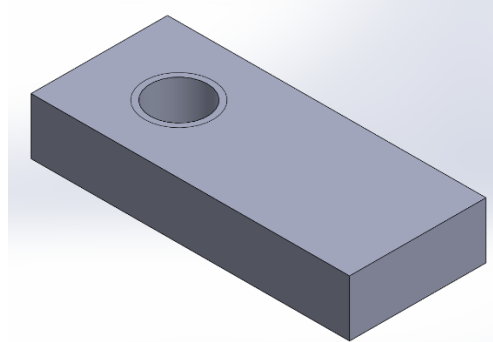


Figura 30. Plaquita de sujeción. Pieza 11.

- **Motor eléctrico (12):** Componente eléctrico del cual se han contabilizado 5 diferentes tamaños. Su selección queda en manos del usuario.
- **Llave de vaso hexagonal M12 (26):** DIN 3124. Elemento normalizado que va soldado en un extremo de la manivela (pieza 27), la cual mediante una tuerca M12 situada en el husillo del gato mecánico (pieza 6), se podrá modificar su altura.

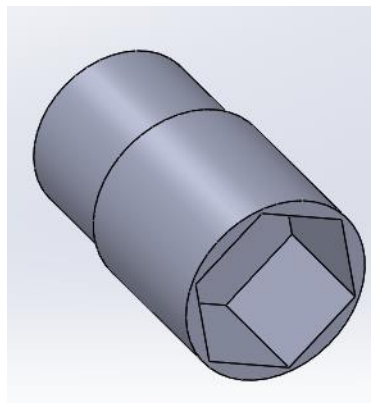


Figura 31. Llave de vaso hexagonal. Pieza 26.

- **Manivela (27):** Elemento cuya función es accionar el movimiento del gato mecánico (pieza 6). En este caso se reutilizará el mecanismo que se muestra en la figura 32. Mantendremos todo el conjunto menos el engranaje del extremo que se sustituirá por la llave de vaso hexagonal (pieza 26) y lo fijaremos a la base inferior de la bancada.





*Figura 32. Manivela. Pieza 27.*

### 6.2.2. Otras piezas normalizadas

La mayoría de las siguientes piezas son tornillos, tuercas y arandelas para fijar nuestro diseño:

- Tornillo M10x40 DIN 24017
- Arandela M10 DIN 125
- Tuerca M10 DIN 93
- Tornillo M8x30 DIN 24017
- Tuerca M8 DIN 934
- Arandela M8 DIN 125
- Tornillo M4x12 DIN 24017
- Arandela M4 DIN 125
- Tornillo M6x12 DIN 24017
- Arandela M6 DIN 125
- Tornillo M8x20 DIN 24017
- Tornillo M12x35 DIN 24017
- Tuerca M12 DIN 934

Excepto el siguiente elemento que tiene una función diferente a los comentados anteriormente:

- **Mango (28):** Elemento comercial para la manivela. Para aumentar el agarre cuando se vaya a utilizar la manivela (pieza 27) para utilizar el gato mecánico (pieza 6)

### 6.3. Cálculos

Solo se han realizado cálculos en dos elementos: en la selección del gato mecánico (pieza 6) y en el diámetro de la varilla roscada (pieza 4).

#### - Selección gato mecánico

Únicamente se necesitaba saber el peso que debía elevar el gato mecánico para seleccionar uno idóneo. Para ello, se necesitaba saber el peso del motor más grande que el gato mecánico debe elevar. Tras conocer este dato se calcula:

$$P_T = (P_{MOTOR} + P_{ELEMENTOS}) \cdot FS \quad (\text{Ec. 1})$$

Utilizo un  $FS = 3$

$$P_T = (60 \text{ kg} + 40 \text{ kg}) \cdot 3 = 300 \text{ kg}$$

El gato mecánico debe soportar y elevar un peso total de 300 kg. El modelo seleccionado puedo impulsar 1,5 toneladas. Es decir, no tendrá ningún problema al funcionar ya que está sobredimensionado.

#### - Diámetro varilla roscada

A la hora de seleccionar la varilla, se debía escoger con conciencia un diámetro que fuera suficiente para que pudiera aguantar el peso total sin que se doblaran ni rompieran. Para ello se utilizaron las fórmulas de Euler para calcular el diámetro mínimo con un factor de seguridad de 3:

$$P_T = P_{MOTOR} + P_{ELEMENTOS} = 60 \text{ kg} + 40 \text{ kg} = 100 \text{ kg} \quad (\text{Ec. 2})$$

$$F = P_T \cdot g \quad (\text{Ec. 3})$$

$$F = 100 \cdot 10 = 1000 \text{ N}$$

Se divide la fuerza en 4, ya que se utiliza 4 varillas roscadas.

$$F_v = \frac{F}{4} = 250 \text{ N} \quad (\text{Ec. 4})$$

$$I_b = \frac{F \cdot FS \cdot L^2}{\pi^2 \cdot E} \quad (\text{Ec. 5})$$

$$I_b = \frac{250 \cdot 3 \cdot (295)^2}{\pi^2 \cdot 210000} = 31,49 \text{ mm}^4$$

$$\phi_{min} = \sqrt[4]{\frac{I_b \cdot 64}{\pi}} \quad (\text{Ec. 6})$$

$$\phi_{min} = \sqrt[4]{\frac{31,49 \cdot 64}{\pi}} = 5,034 \text{ mm}$$

El diámetro mínimo de la varilla es de 5,034 mm, pero como es una dimensión muy pequeña, se decidió escoger una varilla roscada de M8.

#### 6.4. Proceso de trabajo

Cuando se seleccionó la mejor propuesta y las ideas estaban claras, se comenzó a hacer el diseño en CAD con el programa SolidWorks. Se tardó bastante tiempo en hacer el diseño en 3D ya que a medida que se iba avanzando se encontraban problemas de dimensión entre elementos.

Una vez acabado todo el diseño en CAD, se decidió comenzar a hacer los planos del sistema diseñado y de cada pieza del diseño. Al igual que antes, se utilizó el mismo programa ya que es muy fácil trabajar con él. A continuación, en la tabla 3 se muestra un resumen de los planos realizados:

Tabla 3. Resumen de los planos realizados.

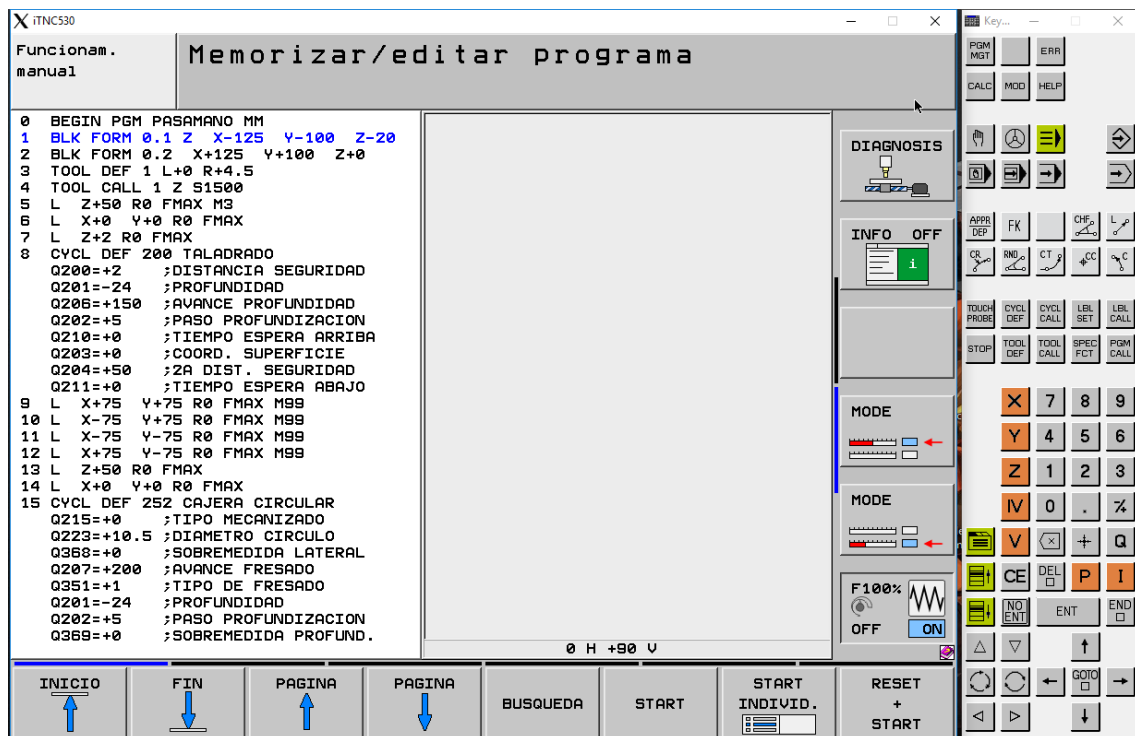
Código de plano	Descripción
SFM – CON - 001	Plano del conjunto
SFM – DES - 001	Plano del despiece
SFM – LIS – 001	Lista de despiece
SFM – PIE – 001	Plano de la pieza 8
SFM – PIE – 002	Plano de las piezas 1 y 2
SFM – PIE – 003	Plano de las piezas 10 y 11
SFM – PIE - 004	Plano de las piezas 5 y 9

Después de haber realizado y revisado los planos, se realizaron las hojas de procesos de las piezas a mecanizar. En el anexo 1 se pueden ver todas las hojas de procesos.

## 6.5. Piezas en CNC

Se decidió hacer 2 piezas del sistema diseñado en CNC, concretamente las piezas 5 y 8. Entonces le pregunté a mi tutor algún programa que pudiera utilizar para simular y realizar el programa de mecanizado de dichas piezas. Mi tutor me enseñó el Heidenhain, un programa donde puedes hacer el proceso de mecanizado a la misma vez que visualizas las operaciones que has programado. Esta herramienta es muy completa ya que te permite hacer diferentes operaciones para poder realizar la pieza sin ningún tipo de problema. De esta manera puedes ir viendo si lo estás haciendo bien o mal. Gracias a esta herramienta, se hicieron los programas de las piezas 5 y 8 que podéis ver en el anexo 2.

A continuación podéis ver la figura 33, que muestra el programa de Heidenhain.



## 6.6. Material selecciona para las piezas a mecanizar

Para realizar todas las piezas no normalizadas del proyecto se ha escogido un acero F-1140. Es decir, todas aquellas piezas que hay que mecanizar: la placa base (pieza 8), soporte para el gato mecánico (pieza 5), los perfiles para las guías motor (pieza 9), los separadores (pieza 10) y las plaquitas de sujeción (pieza 11). Es un acero al Carbono ideal para las condiciones de la situación del sistema diseñado ya que presenta una buena resistencia mecánica y una adecuada dureza para elementos que van a estar estáticos cuando están en su momento más crítico. A continuación se muestran las principales propiedades mecánicas de este acero:

Tabla 4. Características mecánicas del acero F-114.

Características	R (kg/mm <sup>2</sup> )	E (kg/mm <sup>2</sup> )	Dureza Brinell
mecánicas	60 - 80	33	175 - 220

## 7. Disposiciones del diseño

En este punto se muestran las disposiciones del diseño según las características de cada motor. En concreto la posición de las guías motor, el separador adecuado y si es necesario el uso de las plaquitas de sujeción.

### 7.1. Disposición para motor eléctrico de tamaño 112 M

Para utilizar un motor eléctrico de tamaño 112 M se debe de posicionar el sistema de la siguiente manera, y utilizar los siguientes elementos:

- Colocar las guías motor a una distancia de 190 mm entre ellas, como se muestra en la figura 34.
- Elevar la placa base respecto la base superior en una distancia de 13 mm.
- Utilizar el separador adecuado para este tamaño de motor, como se muestra en la figura 35.
- En esta disposición no se necesitan las plaquitas de sujeción ya que las guías se apoyan encima de las columnas. De esta manera, la función de fijar las columnas por la zona superior las realizan las guías.

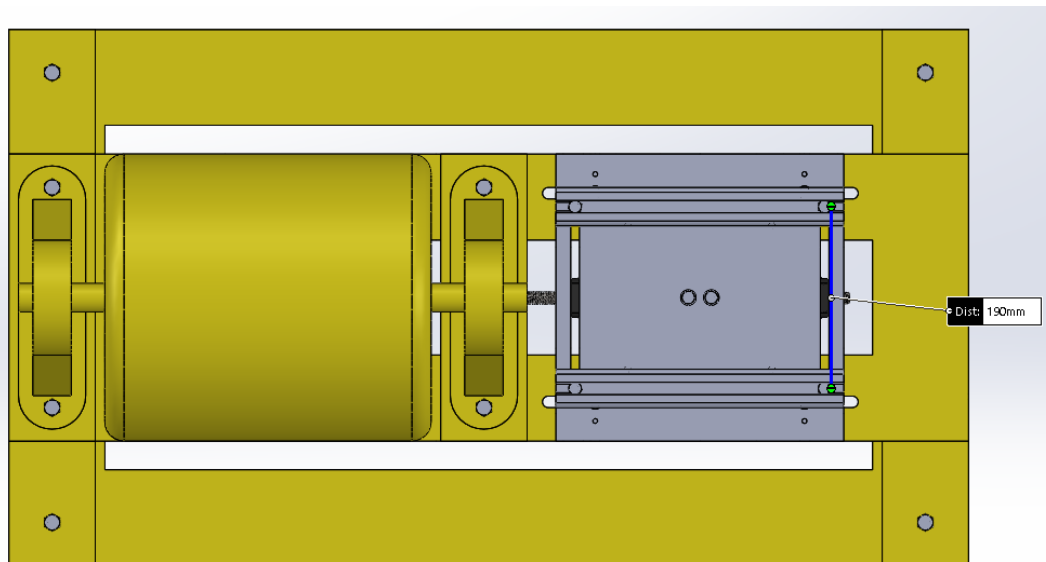


Figura 34. Disposición para tamaño 112 M

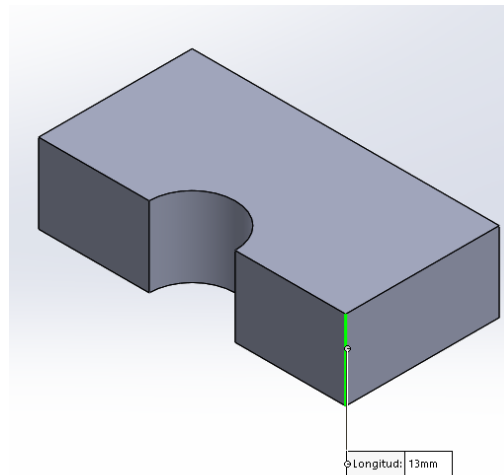


Figura 35. Separador para tamaño 112 M.

## 7.2. Disposición para motor eléctrico de tamaño 100 L

Para utilizar un motor eléctrico de tamaño 100 L se debe de posicionar el sistema de la siguiente manera, y utilizar los siguientes elementos:

- Colocar las guías motor a una distancia de 160 mm entre ellas, como se muestra en la figura 36.
- Elevar la placa base respecto la base superior una distancia de 25 mm.
- Utilizar el separador adecuado para este tamaño de motor, como se muestra en la figura 37.
- Utilizar las plaquitas de sujeción para fijar las columnas por la zona superior para que no puedan salirse de su posición en ningún movimiento del sistema.

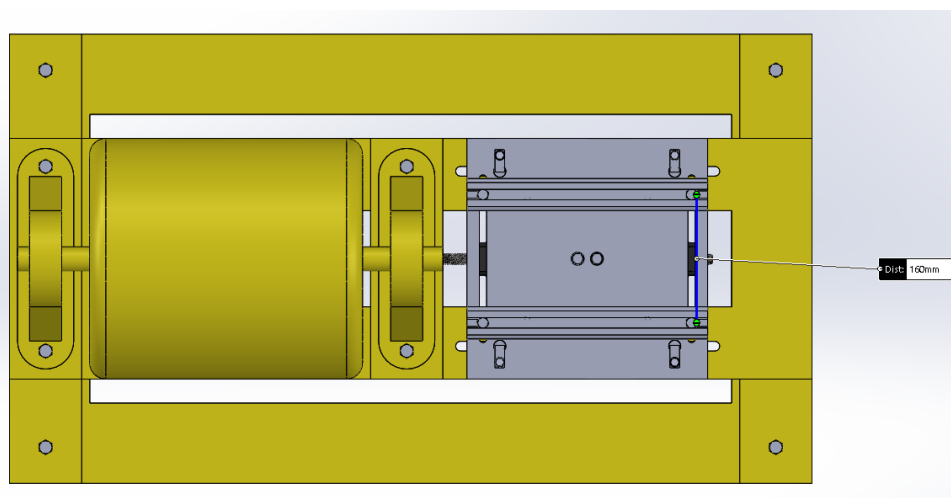


Figura 36. Disposición para tamaño 100 L.

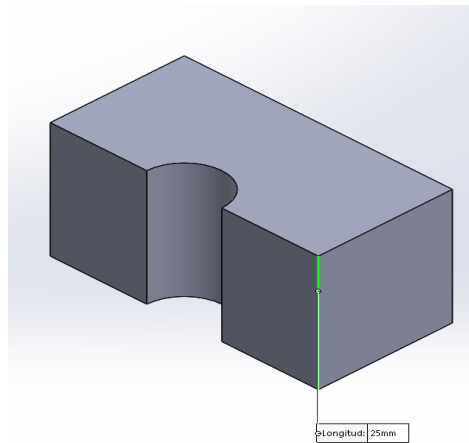


Figura 37. Separador para tamaño 100 L.

### 7.3. Disposición para motor eléctrico de tamaño 90 S y 90 L

Para utilizar un motor eléctrico de tamaño 90 S y 90 L se debe de posicionar el sistema de la siguiente manera, y utilizar los siguientes elementos:

- Colocar las guías motor a una distancia de 140 mm entre ellas, como se muestra en la figura 38.
- Elevar la placa base respecto la base superior una distancia de 35 mm.
- Utilizar el separador adecuado para este tamaño de motor, como se muestra en la figura 39.
- Utilizar las plaquitas de sujeción para fijar las columnas por la zona superior para que no puedan salirse de su posición en ningún movimiento del sistema.

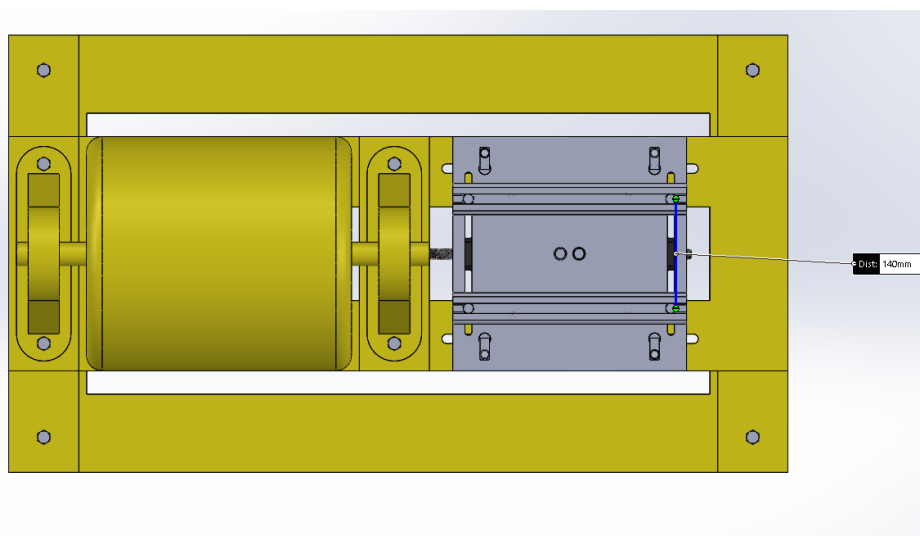


Figura 38. Disposición para tamaño 90 S y 90 L



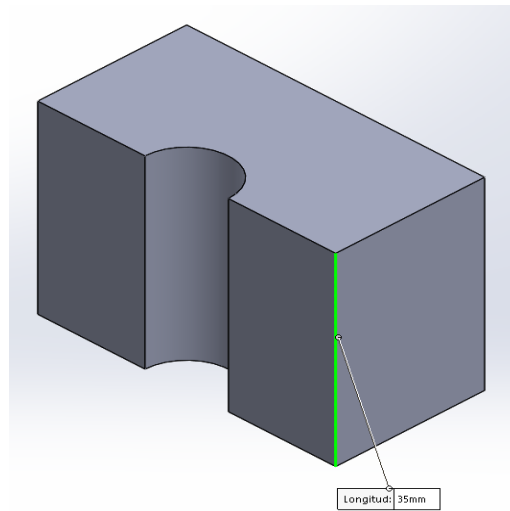


Figura 39. Separador para tamaño 90 S y 90 L

#### 7.4. Disposición para motor eléctrico de tamaño 80 M

Para utilizar un motor eléctrico de tamaño 80 M se debe de posicionar el sistema de la siguiente manera, y utilizar los siguientes elementos:

- Colocar las guías motor a una distancia de 125 mm entre ellas, como se muestra en la figura 40.
- Elevar la placa base respecto la base superior una distancia de 45 mm.
- Utilizar el separador adecuado para este tamaño de motor, como se muestra en la figura 41.
- Utilizar las plaquitas de sujeción para fijar las columnas por la zona superior para que no puedan salirse de su posición en ningún movimiento del sistema.

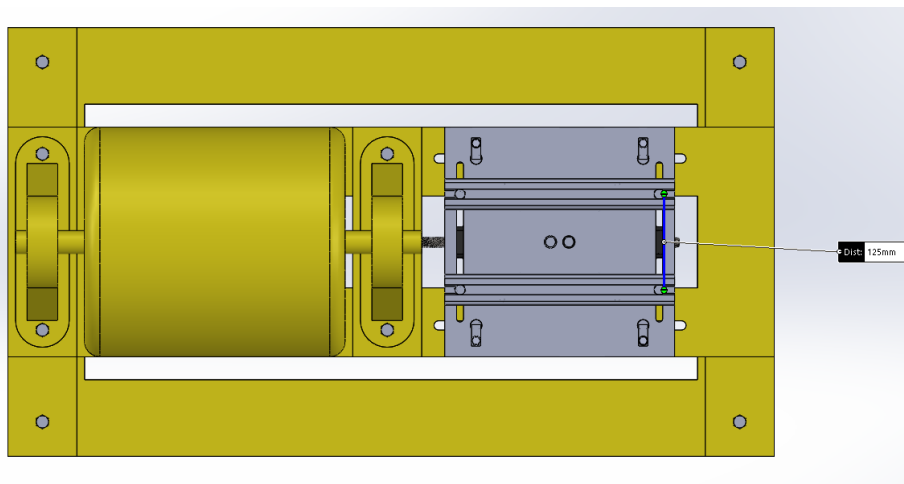
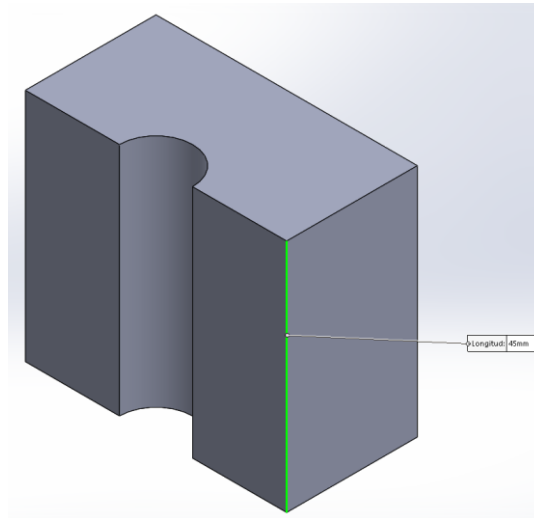


Figura 40. Disposición para tamaño 80 M.



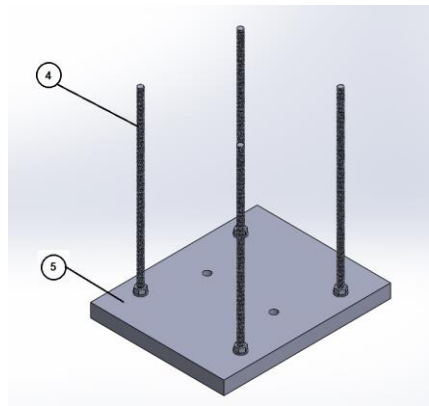
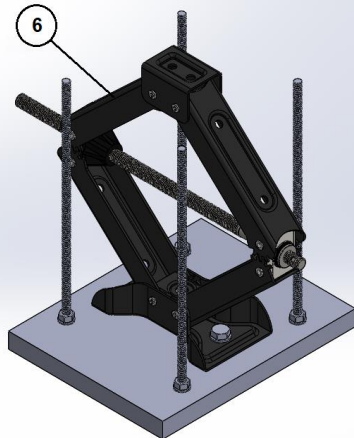
*Figura 41. Separador para tamaño 80 M.*

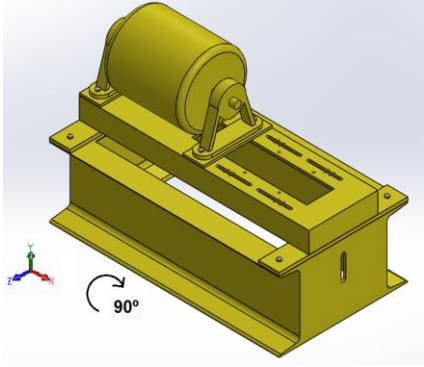
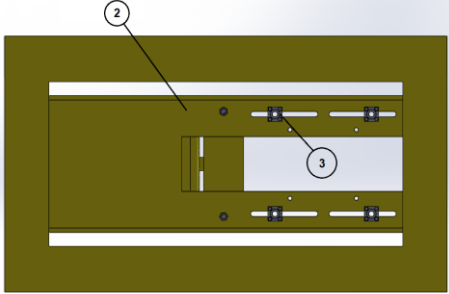
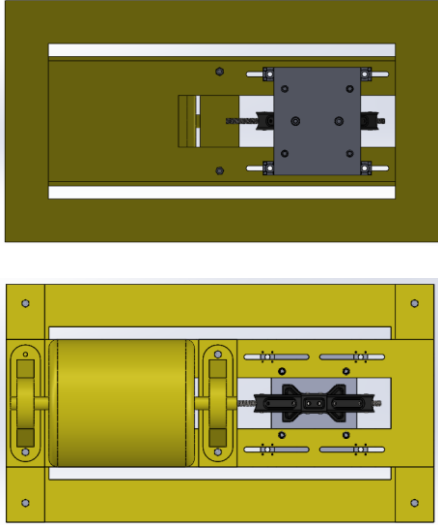
## 8. Manuales

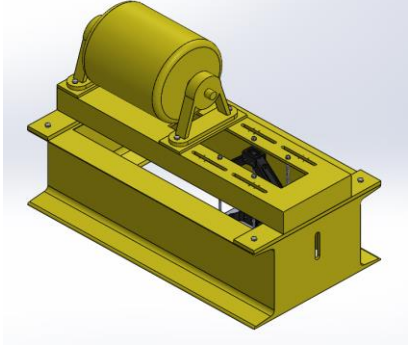
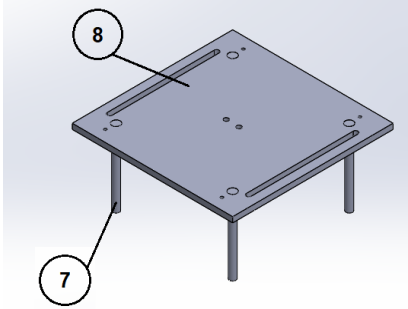
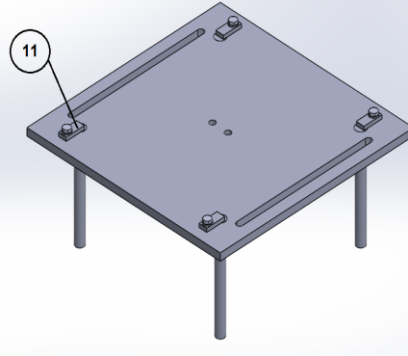
### 8.1. Manual de montaje

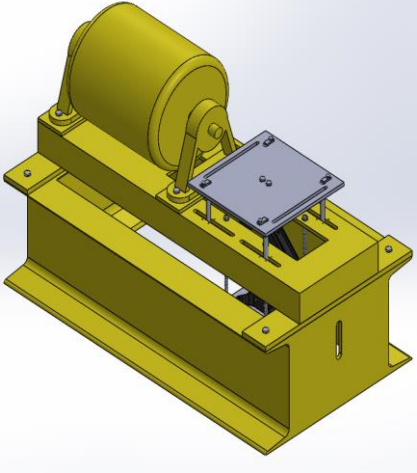
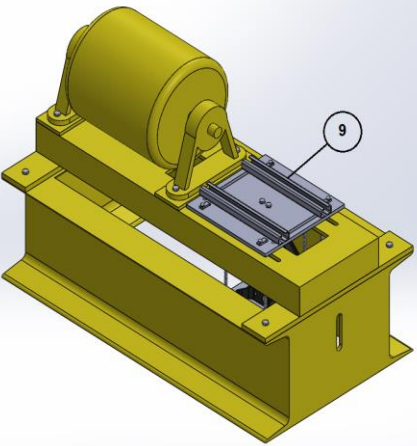
La siguiente tabla, número 5, representa el manual de montaje del sistema diseñado. Del paso 1 al 9 se explican las instrucciones para montar el diseño desde cero, es decir, una vez compradas y mecanizadas todas las piezas, cómo montarlo por primera vez. Del paso 10 al 12 son los que hay que seguir cada vez que queremos utilizar un motor diferente al anterior. En este caso se utiliza un motor eléctrico de tamaño 100 L para poder explicar el montaje.

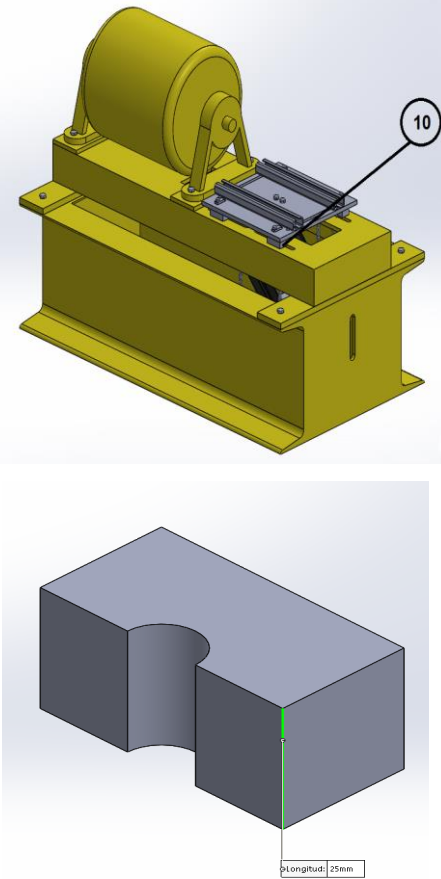
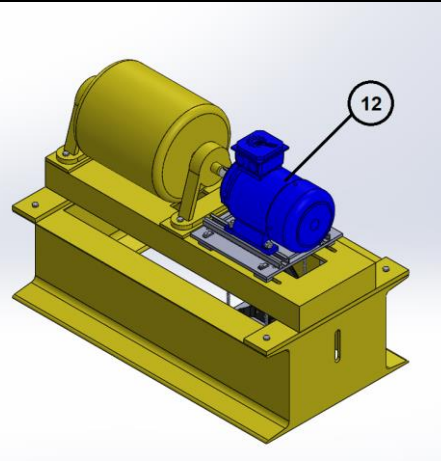
Tabla 5. Instrucciones del manual de montaje.

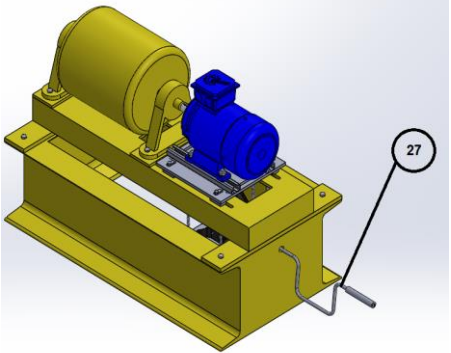
Paso	Instrucción	Soporte visual
1	Primero de todo, se introduce las varillas roscadas (pieza 4) de M8x295 en los cuatro agujeros de Ø9 mm del soporte del gato mecánico (pieza 5). Con la ayuda de las respectivas tuercas M8 (DIN 934) y arandelas (DIN 125) se fija las varillas. Se debe dejar unos 9 mm de varilla por debajo del soporte del gato mecánico para poder collar la tuerca y la arandela.	 <p>Figura 42. Instrucción 1. Manual de montaje.</p>
2	Después, se coge el gato mecánico (pieza 6) y se colla a los dos agujeros de Ø10, 5 mm del soporte del gato mecánico con su respectiva tornillería, tornillo M10x40 (DIN 24017), tuerca M10 (DIN 934) y arandela (DIN 125). Se coloca el gato en una posición cercana a su máximo recorrido.	 <p>Figura 43. Instrucción 2. Manual de montaje.</p>

<p><b>3</b></p>	<p>Se inclina la bancada original 90° respecto el eje X.</p>	 <p><i>Figura 44. Instrucción 3. Manual de montaje.</i></p>
<p><b>4</b></p>	<p>A continuación se atornillan los cojinetes lineales (pieza 3), en sus respectivos agujeros roscados de M6, que previamente se habrán taladrado y roscado, de la base superior (pieza 2). Se utiliza tornillos M4x12 (DIN 24017) y arandelas (DIN 125).</p>	 <p><i>Figura 45. Instrucción 4. Manual de montaje.</i></p>
<p><b>5</b></p>	<p>Se introduce el conjunto de piezas preparado anteriormente en los pasos 1 y 2, y se rosca el otro lado de las varillas a la base superior por los 4 agujeros de Ø9 mm previamente taladrado, utilizando tuercas M8 (DIN 934) y arandela (DIN 125). Deben sobrar unos 9 mm de longitud de varilla por encima de la base superior para collar las tuercas y las arandelas.</p>	 <p><i>Figura 46. Instrucción 5. Manual de montaje.</i></p>

<p><b>6</b></p>	<p>Se vuelve a colocar la bancada a su posición inicial.</p>	 <p><i>Figura 47. Instrucción 6. Manual de montaje.</i></p>
<p><b>7</b></p>	<p>A continuación se introducen las cuatro columnas (pieza 7) en sus respectivas cajas de Ø15 de la placa base (pieza 8).</p>	 <p><i>Figura 48. Instrucción 7. Manual de montaje.</i></p>
<p><b>8</b></p>	<p>Seguidamente se cogen las plaquitas de sujeción (pieza 11) y se posicionan coincidiendo los agujeros roscados M6 de la placa base con los agujeros de las plaquitas. De esta manera se fijan las columnas para que no puedan salirse hacia arriba. Se atornilla con sus respectivos tornillos M6x12 (DIN 24017) y arandelas (DIN 125).</p>	 <p><i>Figura 49. Instrucción 8. Manual de montaje.</i></p>

<p><b>9</b></p>	<p>Se coge el conjunto de piezas preparado previamente en los anteriores dos pasos y se introducen las cuatro columnas por los cojinetes lineales y por las ranuras de la base superior. Ambos tienen el mismo Ø12. Al mismo tiempo se apoya la cara inferior de la placa base a la cara superior del gato y lo collamos con su respectiva tornillería, tornillos M8x30 (DIN 24017), tuercas M8 (DIN 934) y arandelas (DIN 125).</p>	 <p><i>Figura 50. Instrucción 9. Manual de montaje.</i></p>
<p><b>10</b></p>	<p>A continuación, se colocan las dos guías motor (pieza 9) en la cara superior de la placa base, de manera que las guías queden paralelas al eje de la dinamo. Se separan las guías según las dimensiones del motor seleccionado, en este caso se separan las guías una distancia de 160 mm entre ellas. Una vez tenemos separadas las guías, se fijan las guías a la placa base con 4 tornillos M8x20 (DIN 24017) y 4 tuercas M8 (DIN 934) a través de las ranuras de la placa base y en cada extremo de las guías.</p>	 <p><i>Figura 51. Instrucción 10. Manual de montaje.</i></p>

<p><b>11</b></p>	<p>Se eleva la placa base mediante el gato mecánico de tijera a una posición cercana a la máxima. A continuación se coloca los separadores (pieza 10) en cada columna. Se escogen los separadores según el motor eléctrico 100 L los cuales tienen una altura de 25 mm. Luego se baja la placa base hasta que las caras superiores de los separadores toquen la cara inferior de la placa base.</p>	 <p>Figura 52. Instrucción 11. Manual de montaje.</p>
<p><b>12</b></p>	<p>Una vez fijada la variable de la altura, se coloca el motor eléctrico (pieza 12) encima de las guías motor. Se debe fijar donde el eje de motor quede lo suficientemente cerca del eje de la dinamo de freno para poder unirlos mediante un plato de acoplamiento. Luego se fija el motor en las guías mediante tornillos M12x35 (DIN 24017) y tuercas M12 (DIN 934).</p>	 <p>Figura 53. Instrucción 12. Manual de montaje.</p>

13	<p>Para utilizar el gato mecánico, se debe utilizar la manivela (pieza 27) que llevara en un extremo la llave de vaso M12 (DIN 3124) soldado para poder elevar el gato a la altura deseada.</p>	 <p>Figura 54. Instrucción 13. Manual de montaje.</p>
----	---	---

En el apartado 7, se encuentran todas las disposiciones del sistema según el motor que se vaya a utilizar. Se puede ver la distancia entre las guías motor y el separador a utilizar.



## 8.2. Manual de mantenimiento

En la siguiente tabla número 6, se pueden ver las instrucciones a seguir para realizar un adecuado mantenimiento de todos los elementos del sistema diseñado. Para cada elemento se indica las pautas a seguir y su periodicidad para realizar dichas pautas y asegurar una vida larga a los elementos.

Tabla 6. Pautas manual de mantenimiento.

Descripción del elemento	Mantenimiento	Periodicidad
Tornillos de sujeción, tuercas y arandelas de sujeción	Comprobación del anclaje y fuerza de sujeción.	Mensual
Varillas roscadas		
Plaquitas de sujeción		
Guías motor	Comprobación del estado de oxidación de las guías.	2 meses
Cojinetes lineales	Comprobación del estado, ajuste y deslizamiento.	
Columnas		
Gato mecánico de tijera	Comprobación de su funcionamiento y anclaje.	6 meses
Soporte gato mecánico	Comprobación de su estado de oxidación y su anclaje.	
Placa base	Comprobación de su estado de oxidación.	
Separadores		
Base inferior	Comprobación del estado de oxidación de los elementos de la bancada principal y su anclaje.	Anual
Base superior		

### 8.3. Manual de desguace del sistema

A continuació, se detallen en la tabla 7, los distintos elementos utilizados en el diseño de la bancada así como su material y la correspondiente forma de reciclado. Es un punto a tener en cuenta para reducir el impacto ambiental lo máximo posible.

Tabla 7. Pautas manual de desguace del sistema.

Elementos	Material	Reciclado
Base inferior	Acero	Reciclaje sencillo
Base superior		
Cojinetes lineales Ø12		
Varillas roscadas M8x295		
Soporte gato mecánico		
Columnas Ø12x140		
Placa base		
Guías motor		
Separadores		
Plaquetas de sujeción		
Gato mecánico de tijera		
Tornillería, tuercas y arandela		
Motores eléctricos	Acero con componentes eléctricos	Planta especial

## 9. Estudio impacto medioambiental CO<sub>2</sub> del proyecto

Para realizar este estudio, lo primero que se tiene que identificar es:

- Maquinaria utilizada.
- Cantidad de maquinaria utilizada.
- Consumo eléctrico de la maquinaria en KW.
- Horas operativas.
- Consumo eléctrico generado por las maquinas empleadas en kWh.

Tabla 8. Sumatorio del consumo eléctrico en el taller

Cantidad	Maquina	Consumo (kW)	Horas operativas	Consumo eléctrico TOTAL (kWh)
1	Fresadora CNC	6,600	2	13,2
1	Fresadora convencional	2,208	2	4,416
1	Sierra mecánica	0,736	0,5	0,368
40	Fluorescente	0,06	12,5	0,75
1	Taladro manual	1,104	1	1,104
1	Esmiladora	0,37	0,25	0,0925
1	Taladradora	1,5	0,5	0,75
1	Rectificadora	1,5	0,5	0,75
			<b>TOTAL:</b>	<b>21,4305 kWh</b>

Una vez se ha realizado el sumatorio del consumo eléctrico utilizado en el taller mecánico, solo falta multiplicar el valor por los kilogramos de CO<sub>2</sub> que se generan por kWh.

$$\text{Total emisiones de CO}_2 = 22 \text{ kW} \cdot 0,40 \text{ kg de CO}_2 \text{ por kWh} = 8,8 \text{ kg} \quad (\text{Ec. 7})$$

A parte del consumo de la instalación, se debe añadir el consumo generado en la movilidad y el consumo generado para realizar la memoria del proyecto.

Para calcular el consumo generado en el desplazamiento solo es necesario conocer los kilómetros totales y las emisiones de CO<sub>2</sub> por kilómetro (cercado en las especificaciones técnicas del vehículo).

Este proyecto consta de un total de 10 desplazamientos (reuniones con tutor y codirector), con 10 kilómetros por desplazamiento. Realizando una simple multiplicación

se obtienen los kilómetros totales  $10 \cdot 10 = 100$  km. En este caso, el vehículo con el cual se han realizado los documentos emite 100 g (0,1 kg) de  $\text{CO}_2$  por kilómetro. Entonces:

$$\text{Total emisiones de } \text{CO}_2 = 100 \cdot 0.1 = 10 \text{ kg} \quad (\text{Ec. 8})$$

Finalmente, para calcular el consumo personal que se ha generado para realizar toda la documentación (memoria, planos,...), se ha realizado de la siguiente manera:

Horas elaborando la documentación: 25 h.

Consumo en kWh del ordenador: 0,041 kWh.

Consumo en kWh de la iluminación para elaborar la documentación (bombilla): 0,040 kWh.

Por lo tanto, teniendo todos los datos, solo hay que multiplicar los consumos por las horas y por el factor de emisión de  $\text{CO}_2$  doméstico (0,34):

$$\text{Total emisiones de } \text{CO}_2 = ((25 \cdot 0,041) + (25 \cdot 0,040)) \cdot 0,34 = 0,69 \text{ kg} \quad (\text{Ec. 9})$$

Si se hace la suma de los tres factores considerados, se obtiene el total de las emisiones generadas por las prácticas:

$$\text{Total emisiones de } \text{CO}_2 = 8,8 + 10 + 0,69 = 19,5 \text{ kg} \quad (\text{Ec. 10})$$

## 10. Presupuesto

Para poder contabilizar todos los costes y realizar un adecuado presupuesto, se han dividido dichos costes en directos e indirectos.

Al final del apartado, se ha representado el presupuesto con un diagrama Chilton para poder resumir todo el apartado en una representación visual.

### 10.1. Costes directos

En los costes directos se ha tenido en cuenta todo aquel material necesario para el montaje del sistema. Para ello se ha dividido en material no normalizado, todo el material de donde saldrán las piezas mecanizadas, y material normalizado, aquellos elementos que se venden ya mecanizados para su uso. Además se ha contabilizado el mecanizado de las piezas, donde se calcula el precio del proceso de fabricación de cada pieza, y un factor de instalación.

#### 10.1.1. Material no normalizado

Tabla 9. Coste del material no normalizado.

DENOMINACIÓN	UNIDADES	PRECIO UNITARIO				PRECIO TOTAL €
		€/pza	€/kg	€/m	€/m <sup>2</sup>	
Pletina F-1140 200x150x20	1		10			10
Pletina F-1140 300x300x10	1		10			10
Perfil rectangular F-1140 40x25x300	2			16,5		9,9
Tubo cuadrado F-1140 50x50x200	1			14,5		2,9
Tubo rectangular F-1140 12x5x150	1			17		2,6
Barra circular F-1440 Ø10x 500	1			15		7,5
<b>TOTAL</b>						<b>43</b>

### 10.1.2. Material normalizado

Tabla 10. Coste del material normalizado.

DENOMINACIÓN	UNIDADES	PRECIO UNITARIO				PRECIO TOTAL €
		€/pza	€/kg	€/m	€/m <sup>2</sup>	
Cojinete lineal Ø12 LMK12UU	4	6				24
Varilla roscada M8 DIN 975	1			2		2
Gato mecánico SUMEX 2202001	1	12				12
Columna Ø12x140 GUÍA G2	4	8				32
Tornillo M10x40 DIN 24017	2	0,179				0,358
Arandela M10 DIN 125	4	0,027				0,108
Tuerca M10 DIN 934	2	0,033				0,066
Tornillo M8x30 DIN 24017	2	0,069				0,138
Arandela M8 DIN 125	20	0,030				0,6
Tuerca M8 DIN 934	22	0,025				0,55
Tornillo M4x12 DIN 24017	16	0,036				0,576
Arandela M4 DIN 125	16	0,003				0,048
Tornillo M6x12 DIN 24017	4	0,05				0,2
Arandela M6 DIN 125	4	0,013				0,052
Tornillo M8x20 DIN 24017	4	0,06				0,24
Tornillo M12x35 DIN 24017	4	0,835				3,34
Tuerca M12 DIN 934	5	0,042				0,21
Llave de vaso M12 DIN 3124	1	3,5				3,5
Mango de goma Ø20x120	1	1				1
<b>TOTAL</b>						<b>81</b>

### 10.1.3. Mecanizado de las piezas

Tabla 11. Coste del mecanizado de las piezas.

Número de la pieza	TIEMPO ESTIMADO minutos	PRECIO €/min	PRECIO TOTAL €
PIEZA 1. Base inferior	7	0,5	3,5
PIEZA 2. Base superior	9	0,5	4,5
PIEZA 5. Soporte gato mecánico	10	0,92	9,2
PIEZA 8. Placa base	30	0,92	27,6
PIEZA 9. Guías motor	9	0,75	6,75
PIEZA 10. Separadores	16,5	0,75	12,375
PIEZA 11. Plaquitas de sujeción	9	0,75	6,75
PIEZA 27. Manivela	25	0,8	20
<b>TOTAL</b>			<b>90,675</b>

## 10.2. Costes indirectos

Se han asignado como costes indirectos todos aquellos costes que deriven del desarrollo, programación o elaboración del proyecto y de sus componentes (ya sean labores o documentos), donde no aparezcan elementos o equipos y que no puedan ser usados a lo largo de la vida útil del proyecto (explotación de los mecanismos).

Por lo tanto, la división de los costes indirectos acorde con los tiempos estimados para su elaboración, son los siguientes:

Tabla 12. Costes indirectos.

DESIGNACIÓN OPERACIÓN	TIEMPO ESTIMADO horas	PRECIO €/hora	PRECIO TOTAL €
BÚSQUEDA DE LA INFORMACIÓN	60	20	1.200
INFORME PRELIMINAR	30	30	900
PLANIFICACIÓN	20	30	600
DESARROLLO Y DISEÑO DE LA PROPUESTA	60	35	2.100
DOCUMENTOS DEL PROYECTO	100	40	4000
<b>TOTAL</b>			<b>8.800</b>

### 10.3. Diagrama Chilton

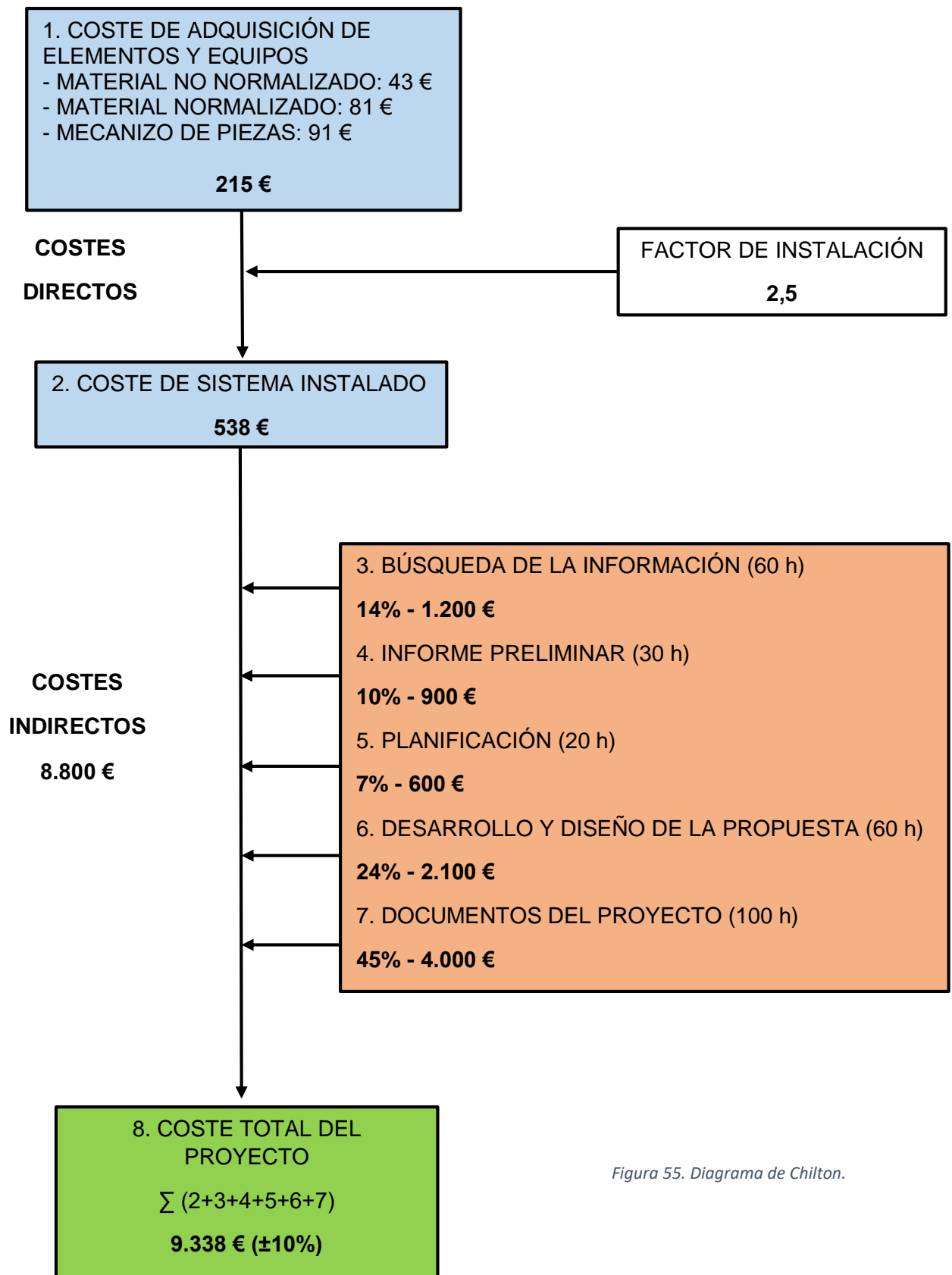


Figura 55. Diagrama de Chilton.



## 11. Diagrama de Gantt

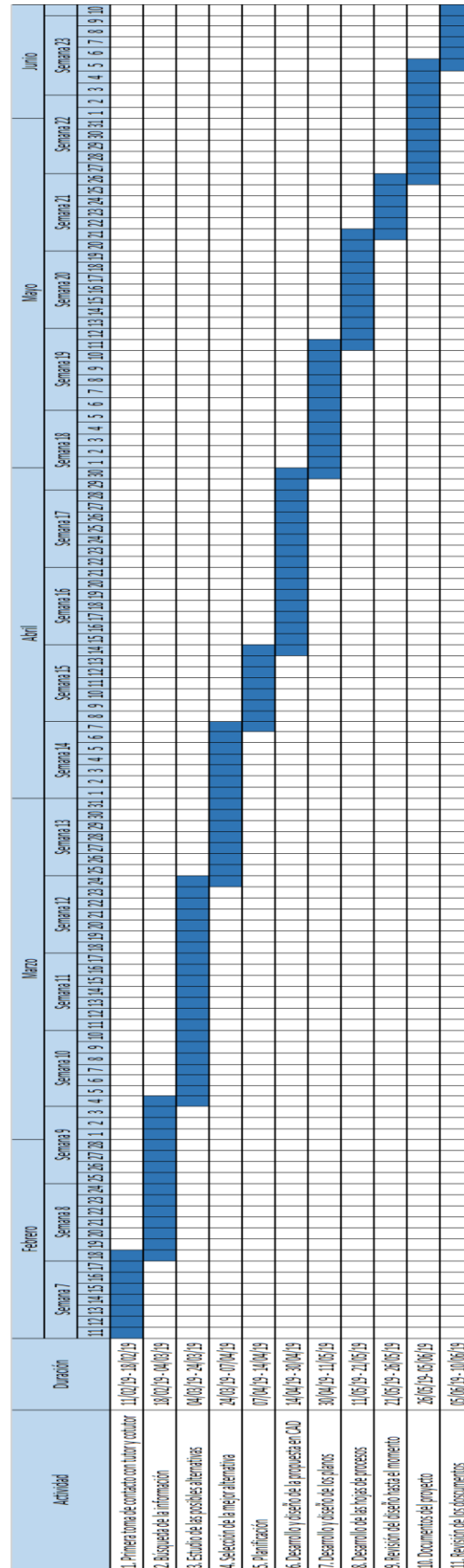


Figura 56. Diagrama de Gantt

## 12. Conclusiones

Para comenzar, se ha realizado el diseño de un soporte regulable para fijar diferentes tamaños de motores eléctricos con éxito. No obstante, esta no es la única conclusión de todo el proyecto y todo el esfuerzo que engloba este trabajo.

El principal objetivo del proyecto era diseñar un soporte regulable donde se pudiesen fijar diferentes tamaños de motores eléctricos, cumpliendo ciertas características para que el usuario pudiera utilizarlo de la manera más cómoda y dinámica posible.

Se puede concluir que estas características se han cumplido con éxito, ya que se han completado todas, del siguiente modo:

- El conjunto de elementos diseñados que componen el soporte regulable tiene un costo relativamente bajo, ya que se han elegido componentes que realizan su función correctamente a un precio muy bajo.
- Se ha podido adaptar perfectamente el soporte regulable a la bancada actual respetando todos los elementos principales de dicha bancada.
- Se ha diseñado un sistema dinámico, ameno y fácil para el usuario. De esta manera podrá cambiar de motor eléctrico sin tener que preocuparse por el procedimiento de uso y su mantenimiento.

A nivel personal, considero que este trabajo me ha servido para consolidar mis conocimientos en el uso de programas CAD como los conocimientos sobre los procesos de fabricación. Aunque la simplicidad del diseño no destaca por la aplicación de estos conocimientos, considero este hecho como un punto positivo, ya que se ha realizado un proyecto de ingeniería donde la simplicidad del diseño y su correspondiente bajo coste son puntos a destacar por delante de la complejidad técnica.

Por último, resaltar que me siento muy contento de realizar este trabajo. Se han cumplido todos los objetivos mencionados al principio del proyecto y merece la pena ver reflejado todo el tiempo invertido en este trabajo.

### 13. Bibliografia

- Ballesteros Hernando, M. Método de estimación de huecos de tensión y análisis del defecto de la tensión de prefallo. Trabajo final de grado. Escuela Superior de Ingenieros Industriales de Madrid, Septiembre 2014.
- Comité Europeo de Normalización. EN 501060: Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución. Madrid: AENOR , 2015.
- "IEEE 1159- 1995", Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality. AENOR, 2015.
- Comité Europeo de Normalización. EN 61000-4-30. Compatibilidad electromagnética. Madrid: AENOR, 2015.
- A. Sannino, M. H. J. Bollen and J. Svensson, "Voltage tolerance testing of three-phase voltage source converters," IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 20, no. 2, pp. 1633-1639, Apr. 2005.
- M. H. J. Bollen, "Voltage recovery after unbalanced and balanced voltage dips in three-phase systems," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 18, no. 4, pp. 1376-1381, Oct. 2003.
- D. Chen; L. Xu, "Autonomous DC Voltage Control of a DC Microgrid With Multiple Slack Terminals," Power Systems, IEEE Transactions on , vol.27, no.4, pp.1897,1905, Nov. 2012.
- V. E Wagner, A. A. Andreshak, and J. P. Staniak, "Power quality and factory automation," IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. 26, pp. 620–626, July/Aug. 1990.
- M. H. J. Bollen, Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions. New York: IEEE Press, 2000.
- M. Bollen, E. Styvaktakis. "Caracterization of Three-Phase Unbalanced Dips". IEEE Trans. on Power Delivery. 2000.
- S. Djokid, J. Milanovid, D. Chapman, M. McGranagham, D. Kirschen. "A New Method for Classification and Presentation of Voltage Reduction Events". IEEE Trans. on Power Delivery. Vol. 20. 2005.

## 14. Referencia

- Comité Europeo de Normalización. EN 501060: Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución. Madrid: AENOR , 2015. [1]
- "IEEE 1159- 1995", Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality. AENOR, 2015. [2]
- Comite Europeo de Normalización. EN 61000-4-30. Compatibilidad electromagnética. Madrid: AENOR, 2015. [3]
- M. Bollen. Understanding Power Quality Problems. IEEE press. New York (USA). 2000. [4]
- M. Bollen, E. Styvaktakis. "Characterization of Three-Phase Unbalanced Dips". IEEE Trans. on Power Delivery. 2000. [5]